



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Terhadap Performa Turbin Angin Savonius

Studi Kasus (d/D) = 1,0; Jarak (S/D) = 1,8; Variasi penempatan silinder (y/D) = 0; 0,25; dan 0,5 dengan bilangan Reynolds = 97000, 145000 dan 178000

ANDRI DWI PUTRA
0211134000003

Dosen Pembimbing
Prof. Dr.Ir. Triyogi Yuwono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR - TM 141585

Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Terhadap Performa Turbin Angin Savonius

Studi Kasus (d/D) = 1,0; Jarak (S/D) = 1,8; Variasi penempatan silinder (y/D) = 0; 0,25; dan 0,5 dengan bilangan Reynolds = 97000, 145000 dan 178000

ANDRI DWI PUTRA
02111340000003

Dosen Pembimbing
Prof. Dr.Ir. Triyogi Yuwono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

FINAL PROJECT - TM 141585

**Experimental Study on the Effect of
Cylinder Disturbance In front Of Returning
Blade to the Wind Turbine's Savonius
Performance**

Study Case (d/D) = 1.0; Distance (S/D) =
1.8; Variation Cylinder Placement (y/D) = 0;
0.25; and 0.5 With Reynolds Number =
97000, 145000 dan 178000

ANDRI DWI PUTRA
02111340000003

Dosen Pembimbing
Prof. Dr.Ir. Triyogi Yuwono, DEA

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

**Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu
Terhadap Performa Turbin Angin Savonius**
Studi Kasus (d/D) = 1,0; Jarak (S/D) = 1,8; Variasi penempatan
silinder (y/D) = 0; 0,25; dan 0,5 dengan bilangan Reynolds =
97000, 145000 dan 178000

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

ANDRI DWI PUTRA
NRP. 021 1134 0000003

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA. (Pembimbing)
NIP. 196508101991021001
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, PhD. (Penguji I)
NIP. 196412281990031002
3. Dr. Ir. Heru Mirmanto (Penguji II)
NIP. 196202161995121001
4. Nur Ikhwan, ST, M.Eng. (Penguji III)
NIP. 196709151995121001

**SURABAYA
JULI, 2018**

Studi Eksperimen Pengaruh Silinder Pengganggu Terhadap Performa Turbin Angin Savonius

Studi Kasus (d/D) = 1,0; Jarak (S/D) = 1,8; Variasi penempatan silinder (y/D) = 0; 0,25; dan 0,5 dengan bilangan Reynolds = 97000, 145000 dan 178000

Nama Mahasiswa : Andri Dwi Putra
NRP : 02111340000003
Jurusan : Teknik Mesin FTI - ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Ir. Triyono Yuwono, DEA

ABSTRAK

Kebutuhan energi di Indonesia tiap tahun terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi yang ada di Indonesia. Terlihat dari perkembangan industri dan teknologi yang ada di Indonesia. Sumber energi yang digunakan untuk memasok kebutuhan energi sebagian besar merupakan energi fosil. Seiring berjalannya waktu energi fosil akan habis. Untuk mengatasi ketergantungan terhadap energi fosil, maka perlu sumber energi baru. Sumber energi terbarukan salah satunya adalah energi angin yang memiliki potensi energi yang cukup besar dan belum banyak dikembangkan di Indonesia. Turbin angin Savonius merupakan turbin dengan poros vertikal yang dapat bekerja pada kecepatan angin rendah dan cocok dengan karakteristik angin di Indonesia, tetapi turbin ini memiliki efisiensi yang rendah. Sehingga perlu upaya untuk meningkatkan kinerja turbin angin savonius, penelitian ini menggunakan silinder sirkular pengganggu yang diletakkan di depan sudu returning blade.

Untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius yang memiliki diameter (L) = 303,4 mm dan tinggi (H) = 294,4 mm, digunakan silinder yang memiliki diameter (d) = 165,2 mm yang diletakkan di depan returning blade turbin. Silinder pengganggu tersebut diletakkan dengan jarak S/D 1,8 dengan variasi

penempatan silinder pengganggu y/D 0; 0,25; 0,5, turbon angin Savonius juga memiliki end plate. Penelitian dilakukan pada area terbuka dengan angin yang dihembuskan axial fan. Pada bilangan Reynolds = 97000, 145000 dan 178000. Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer digital. Putaran dari turbin angin diukur menggunakan tachometer, torsi statis menggunakan torque meter, torsi dinamis menggunakan brake dynamometer.

Hasil yang didapatkan dari studi eksperimen ini menunjukan bahwa dengan menambahkan silinder pengganggu didepan returning blade mampu meningkatkan performa dari turbin angin Savonius pada beberapa konfigurasi y/D dan bilangan Reynolds. Peningkatan nilai dari Coefficient of Power terjadi pada konfigurasi y/D = 0,5 dan bilangan Reynolds = 178000 dengan peningkatan sebesar 1,06 %. Peningkatan nilai Coefficient of Moment terjadi pada konfigurasi y/D = 0,5 dan bilangan Reynolds = 145000 dengan peningkatan sebesar 4,31%. Penempatan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius pada konfigurasi y/D = 0,5 di setiap bilangan Reynolds menyebabkan turbin angin Savonius memiliki kemampuan self starting yang lebih baik di setiap bukaan sudu turbin.

Kata kunci : Turbin Savonius, Silinder Pengganggu, Coefficient of Power, Coefficient of Moment, variasi y/D, bilangan Reynolds.

Experimental Study on the Effect of Cylinder Disturbance In front Of Returning Blade to the Wind Turbine's Savonius Performance

Study Case (d/D) = 1.0; Distance (S/D) = 1.8; Variation Cylinder Placement (y/D) = 0; 0.25; and 0.5 With Reynolds Number = 97000, 145000 dan 178000

Student Name : Andri Dwi Putra
Student Number : 02111340000003
Department : Mechanical Engineering FTI - ITS
Advisor : Prof. Dr.Ir. Triyogi Yuwono, DEA

ABSTRACT

Energy needed in Indonesia every year continuously increasing along with economic growth in Indonesia. It seen from Indonesia's industrial and technological development. Energy resources that has been used for energy supply mostly was fossil energy. As time passed by fossil energy will be run out. To overcome the dependence with fossil energy, new energy recources needed. One of renewable energy is wind energy that has a big enough potential and not much developed yet in Indonesia. Savonius wind turbine is turbine with vertical axis that works on low wind speed and it fits with wind characteristics in Indonesia, but this turbine has low efficiency. So it takes effort to enhance Savonius turbine works, this research use a circular cylindrical as an disturbance placed in front of returning blade degree.

To improve Savonius wind turbine performance that has diameter (L) = 303.4 mm and height (H) = 294.4 mm, is used a cylindrical that has diameter (d) = 165,2 mm placed in front of returning blade turbine. The cylindrical obstacle placed with distance S/D = 1.8 with the position of the disturbance cylinder valued of y/D = 0; 0.25; 0.5, The Savonius wind turbine also has end plate. Research conducted on the open area with the wind

supplied by axial fan. On the reynolds number = 97000, 145000 and 178000. Wind speed measured by digital anemometer. The turbine rotation measured by tachometer, static torque measured by torquemeter, dinamic torque measured by brake dynamometer.

The results from this study experiment show out that by installing the disturbance cylinder in front of returning blade could increase Savonious wind turbine performance on several configuration y/D and the Reynolds number. The increasing of Coefficient of Power occurs on the configuration $y/D = 0.5$ and the reynolds number = 178000 with increasing of 1.06%. Meanwhile, at the position of $y/D = 0.5$ and $Re = 145000$, it increase of 4.31% compared to the conventional Savonius turbine. Moreover, the installation of the disturbance cylinder at the position of $y/D = 0.5$ in front of returning blade causes the turbine to have a better ability self starting at each angle position of the rotor turbine.

Keywords : Savonius Wind Turbine, Disturbance Cylinder , Coefficient of Power, Coefficient of Moment, variation of y/D , Reynolds number.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sekaligus sebagai penutup manis perantauan penulis menimba ilmu di Surabaya. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, banyak sekali pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikannya. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terima kasih, khususnya kepada:

1. Orang tua dan keluarga di rumah, Bapak Idriansyah dan Ibu Welny yang terus memberikan semangat dan doa dari rumah. Agar bisa mendapatkan gelar sarjana teknik di ITS tercinta ini.
2. Saudara kandung saya yaitu kakak-kakak saya Ikhsan, Dina, dan adik-adik saya Fadel dan yaza yang telah memberikan support dan semangat dalam menjalani perkuliahan di teknik mesin ITS ini.
3. Dosen pembimbing tugas akhir ini, Prof. Dr. Ir. Triyogi Yuwono, DEA, yang tidak henti memberikan pengampunan kepada mahasiswanya dan memberikan arahan penulis untuk menyelesaikan tugas-tugas kehidupan yang tak ada habisnya.
4. Para dosen penguji, Prof. Ir. Sutardi M.Eng., PhD., Vivien Suphandani, ST., M.Eng., Ph.D., Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT., Nur Ikhwan, ST, M.Eng., yang telah banyak memberikan masukan sehingga tugas akhir ini dapat ditulis dengan sebaik-baiknya.
5. Ir. Bambang Pramujati, M.Eng.Sc., Ph.D., selaku dosen wali penulis dan seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTI-ITS serta tak lupa, Kepala Departemen Teknik Mesin FTI-ITS, Ir. Bambang Pramujati, M.Eng.Sc., Ph.D., yang banyak membantu penulis selama menjalankan studinya.
6. Lessya Nasrul, teman spesial saya selama hampir 6 tahun ini menemani kehidupan saya dalam suka maupun duka,

tidak lupa juga memberikan semangat dan *support* tiada henti selama menjalani kehidupan di Kota Surabaya.

7. Rekan-rekan seperjuangan Savonius generasi ke 4, terima kasih atas bantuan, keluh kesah, perselisihan dan semangatnya selama mengerjakan tugas akhir ini. Dan juga rekan Savonius 4.3 yang sangat membantu dan memberi warna kehidupan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Rekan rekan di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri yang selalu menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini sampai selesai.
9. Seluruh pengurus Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2014/2015 dan 2015/2016 yang banyak memberikan ilmu kehidupan dan keorganisasian, sehingga penulis menjadi lebih baik dari sebelumnya.
10. Keluarga M56 yang menemani penulis selama 5 tahun menjalani perkuliahan di Teknik Mesin ITS tercinta ini.
11. Seluruh pihak yang tak bisa penulis sebutkan satu-persatu baik yang sudah, sempat, atau pun yang belum bisa penulis sampaikan rasa terima kasihnya. Semoga bantuan kalian kembali menjadi kebaikan bagi kalian.

Penulis menyadari bahwa manusia hanyalah makhluk yang tak luput dari lupa dan khilaf. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Terakhir, penulis meminta maaf apabila terdapat kalimat yang kurang berkenan pada laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca untuk kemajuan yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR SIMBOL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Turbin Angin	9
2.2 Turbin Angin Savonius.....	10
2.3 Gaya <i>Drag</i> dan Koefisien <i>Drag</i>	11
2.4 Tip Speed Ratio	13
2.5 Daya Pada Turbin	15
2.5.1 Daya input.....	15
2.5.2 Daya Output.....	16
2.5.3 Coefficient of Power.....	16
2.5.4 Coefficient of Moment.....	17
2.6 Fenomena Aliran Melintasi Silinder.....	18
2.7 Penelitian Terdahulu	20
2.7.1 Penelitian tentang Silinder Berpengganggu	20

2.7.2 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin dengan Metode Komputasi	23
2.7.3 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius	24
2.7.4 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius dengan Plat Penghalang	28
2.7.5 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu	30
2.7.6 Penelitian Tentang Peningkatan Peforma dari Turbin Savonius dengan Plat Penghalang pada Variasi Panjang Plat dan Bilangan Reynolds.	33
2.7.7 Penelitian tentang studi numerik Peningkatan Peforma dari Turbin Savonius dengan Plat Datar Penghalang.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Parameter Pengukuran	41
3.2 Analisa Dimensi.....	42
3.2.1 Analisa Dimensi untuk <i>Coefficient of Power</i>	42
3.2.2 Analisa Dimensi <i>Coefficient of Moment</i>	45
3.3 Peralatan Eksperimen.....	48
3.3.1 Benda Uji	48
3.3.2 Axial Fan.....	49
3.3.3 Alat ukur	50
3.4 Honeycomb	56
3.5 <i>Voltage Regulator dan Multimeter</i>	57
3.6 <i>Bearing</i>	59
3.7 Prosedur Penelitian	59
3.8 Flowchart Penelitian	61

3.9	Perencanaan Penelitian	63
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		65
4.1	Data Penelitian	65
4.1.1	Perhitungan Nilai Reynolds <i>Number</i>	65
4.1.2	Perhitungan Nilai Tip Speed Ratio (TSR)	67
4.1.3	Perhitungan Nilai <i>Coefficient of Power</i> (CoP).....	68
4.1.4	Perhitungan Nilai <i>Coefficient of Moment</i> (Cm)	69
4.2	Analisa Performa Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Penggangu.....	69
4.2.1	Analisa Putaran Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Penggangu	69
4.2.2	Analisa Torsi Statis Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Penggangu	71
4.2.3	Analisa <i>Coefficient of Power</i> Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Penggangu	72
4.2.4	Analisa <i>Coefficient of Moment</i> Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Penggangu	73
4.3	Analisa Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Penggangu di Posisi $y/D = 0$	75
4.3.1	Analisa Putaran Turbin Angin Savonius dengan Silinder Penggangu di Posisi $y/D = 0$	76
4.3.2	Analisa <i>Coefficient Of Power</i> Turbin Angin Savonius dengan Silinder Penggangu di Posisi $y/D = 0$	77
4.3.3	Analisa <i>Coefficient Of Moment</i> Turbin Angin Savonius dengan Silinder Penggangu di Posisi y/D $= 0$	79
4.4	Analisa Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Penggangu di Posisi $y/D = 0,25$	80

4.4.1	Analisa Putaran Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,25$	80
4.4.2	Analisa <i>Coefficient Of Power</i> Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,25$	82
4.4.3	Analisa <i>Coefficient Of Moment</i> Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,25$	84
4.5	Analisa Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$	85
4.5.1	Analisa Putaran Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$	86
4.5.2	Analisa <i>Coefficient Of Performance</i> Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$	87
4.5.3	Analisa <i>Coefficient Of Moment</i> Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$	89
4.5.4	Analisa Torsi Statis Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$	90
4.6	Analisa Perbandingan Performa Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu.	92
4.6.1	Analisa Perbandingan Putaran (n) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu....	92
4.6.2	Analisa Perbandingan <i>Coefficient of Power</i> (CoP) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 97000$	94
4.6.3	Analisa Perbandingan <i>Coefficient of Power</i> (CoP) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 145000$	96

4.6.4	Analisa Perbandingan <i>Coefficient of Power</i> (CoP) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 178000$	97
4.6.5	Analisa Perbandingan <i>Coefficient of Moment</i> (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 97000$	99
4.6.6	Analisa Perbandingan <i>Coefficient of Moment</i> (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 145000$	100
4.6.7	Analisa Perbandingan <i>Coefficient of Moment</i> (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 178000$	102
4.6.8	Analisa Perbandingan Torsi Statis (Ts) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 97000$	103
4.6.9	Analisa Perbandingan Torsi Statis (Ts) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 145000$	105
4.6.10	Analisa Perbandingan Torsi Statis (Ts) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 178000$	107
4.7	Diskusi Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		113
5.1	Kesimpulan	113
5.2	Saran	115
DAFTAR PUSTAKA		117
LAMPIRAN.....		119

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan Turbin Angin Berdasarkan Axis.....	9
Gambar 2.2 Ilustrasi Turbin Savonius	11
Gambar 2.3 Penguraian komponen gaya hambat dan gaya angkat (Pritchard, et al., 2011).....	12
Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara <i>Coefficient Of Power</i> Dengan <i>Tip Speed Ratio</i> untuk Berbagai Jenis Turbin Angin (Pritchard, et al., 2011).....	14
Gambar 2.5 Profil kecepatan aliran fluida melewati silinder.....	18
Gambar 2.6 Titik terjadinya separasi dan Daerah Wake	19
Gambar 2.7 Skema Penelitian (Igarashi, 1981)	20
Gambar 2.8 Visualisasi aliran yang melewati silinder tandem (Igarashi, 1981)	21
Gambar 2.9 Grafik pengaruh perubahan L/d terhadap nilai koefisien drag (CD) (Igarashi, 1981)	22
Gambar 2.10 Model rotor turbin Savonius (Diaz, et al., 2014)	23
Gambar 2.11 <i>Coefficient of Power</i> Vs TSR (Diaz, et al., 2014).....	24
Gambar 2.12 skema turbin angin Savonius single stage (Mahmoud, et al., 2010).....	25
Gambar 2.13 Grafik perbandingan C_p dan V pada rotor dua, tiga dan 4 blades (Mahmoud, et al., 2010)	25
Gambar 2.14 Grafik turbin Savonius tanpa end plate dan menggunakan end plate (Mahmoud, et al., 2010)	26
Gambar 2.15 Grafik Perbandingan Power dan V pada 2 blade, $\alpha = 2$ terhadap variasi β (Mahmoud, et al., 2010).....	27
Gambar 2.16 Grafik Perbandingan Power dan V pada 2 blade, $\beta = 0$ terhadap variasi α (Mahmoud, et al., 2010).....	28

Gambar 2.17 Skema Turbin angin dengan plat penghalang (Altan, et al., 2008).....	29
Gambar 2.18 Grafik pengaruh plat penghalang terhadap nilai Cop dengan variasi <i>tip speed ratio</i> (Altan, et al., 2008).....	30
Gambar 2.19 Skema Penelitian tampak atas dan tampak samping (Ielman, 2017)	31
Gambar 2.20 Grafik Tstatis turbin berpengganggu sebagai fungsi sudut (Θ) (Ielman, 2017)	31
Gambar 2.21 Grafik perbandingan <i>Coefficient of Power</i> antara turbin angin Savonius berpengganggu dan tanpa silinder pengganggu (CoP/CoP ₀) sebagai fungsi jarak pada S/D = 1,5 – 2,4 (Ielman, 2017)	33
Gambar 2.22 Skema penelitian dengan plat penghalang (Triyogi et al, 2017).....	33
Gambar 2.23 Grafik Perbandingan putaran (N/No) terhadap variasi panjang plat (S/D) untuk Re = 30.000 dan 90.000 (Triyogi et al, 2017).....	34
Gambar 2.24 Grafik Perbandingan Coefficient of Power (CoP/CoP ₀) terhadap variasi rasio panjang plat penghalang (S/D) untuk Re = 30.000 dan 90.000 (Triyogi et al, 2017)	35
Gambar 2.25 Hasil simulasi vektor kecepatan untuk Re = 30.000 (a) dan 90.000 (c). Hasil simulasi kontur tekanan untuk Re = 30.000 (b) dan 90.000 (d) (Triyogi et al, 2017).....	36
Gambar 2.26 Hasil simulasi kontur tekanan untuk Re = 30.000 (a) S/D = 1,00, (b) S/D = 1.02, (c) S/D = 1.03, (d) S/D = 1.15, (e). 1.41 and (f) S/D = 2.00 (Triyogi et al,2017)	37
Gambar 2.27 Hasil simulasi kontur tekanan untuk Re = 90.000 (a) S/D = 1,00, (b) S/D = 1.02, (c) S/D = 1.03, (d) S/D = 1.15, (e). 1.41 and (f) S/D = 2.00 (Triyogi et al,2017)	38
Gambar 3.1 Skema Penelitian.....	41
Gambar 3.2 Turbin angin Savonius	49

Gambar 3.3	Silinder Pengganggu didepan returning blade	49
Gambar 3.4	Axial Fan CKE SPV-18	50
Gambar 3.5	Anemometer Digital Omega HHH-141A	51
Gambar 3.6	Tachometer OMEGA HHT-12	52
Gambar 3.7	Torsi meter Lutron TQ-8800.....	53
Gambar 3.8	Skema <i>brake dynamometer</i>	54
Gambar 3.9	Pegas Nagata seri 10 kg	55
Gambar 3.10	Benang Nylon Optimum Lazer	55
Gambar 3.11	Massa Pemberat	56
Gambar 3.12	Skema Instalasi Penelitian	57
Gambar 3.13	Honeycomb yang digunakan pada penelitian	57
Gambar 3.14	Voltage regulator model TDGC 2J-3 dan Multimeter digital Sanwa PC 7000	58
Gambar 3.15	Bearing IBC GERMANY 6201THBP630955P...	59
Gambar 4.1	Grafik putaran tanpa silinder pengganggu fungsi bilangan Reynolds	70
Gambar 4.2	Grafik torsi statis tanpa silinder pengganggu fungsi sudut	72
Gambar 4.3	Grafik Coefficient of Power turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu fungsi tip speed ratio	73
Gambar 4.4	Grafik <i>Coefficient of Moment</i> turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu fungsi <i>tip speed ratio</i>	75
Gambar 4.5	Grafik putaran dengan silinder pengganggu fungsi Reynolds Number pada $y/D = 0$	77
Gambar 4.6	Grafik <i>Coefficient of Power</i> turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi tip speed ratio pada $y/D = 0$	78
Gambar 4.7	Grafik <i>Coefficient of Moment</i> turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi <i>tip speed ratio</i> pada $y/D = 0$	80

Gambar 4.8 Grafik putaran dengan silinder pengganggu fungsi Reynolds Number pada $y/D = 0,25$	82
Gambar 4.9 Grafik <i>Coefficient of Power</i> turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi <i>tip speed ratio</i> pada $y/D = 0,25$	84
Gambar 4.10 Grafik <i>Coefficient of Moment</i> turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi <i>tip speed ratio</i> pada $y/D = 0,25$	85
Gambar 4.11 Grafik putaran dengan silinder pengganggu fungsi Reynolds Number pada $y/D = 0,5$	87
Gambar 4.12 Grafik <i>Coefficient of Power</i> turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi <i>tip speed ratio</i> pada $y/D = 0,5$	88
Gambar 4.13 Grafik <i>Coefficient of Moment</i> turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi <i>tip speed ratio</i> pada $y/D = 0,5$	90
Gambar 4.14 Grafik torsi statis dengan silinder pengganggu fungsi sudut	92
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan nilai putaran tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi bilangan Reynolds.....	94
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan nilai <i>Coefficient of Power</i> tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> (λ) pada $Re = 97000$	95
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan nilai <i>Coefficient of Power</i> tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> (λ) pada $Re = 145000$	97
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan nilai <i>Coefficient of Power</i> tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> (λ) pada $Re = 178000$	98

Gambar 4.19 Grafik Perbandingan nilai <i>Coefficient of Moment</i> tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> (λ) pada $Re = 97000$	100
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan nilai <i>Coefficient of Moment</i> tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> (λ) pada $Re = 145000$	101
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan nilai <i>Coefficient of Moment</i> tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> (λ) pada $Re = 178000$	103
Gambar 4.22 Grafik perbandingan nilai torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi sudut pada $Re = 97000$	105
Gambar 4.23 Grafik perbandingan nilai torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi sudut pada $Re = 145000$	107
Gambar 4.24 Grafik perbandingan nilai torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi sudut pada $Re = 178000$	109
Gambar 4.25 <i>Coefficient of Power Vs TSR (Diaz, et al., 2014)</i>	109
Gambar 4.26 Grafik pengaruh plat penghalang terhadap nilai <i>Cop</i> dengan variasi <i>tip speed ratio</i> (Altan, et al., 2008)	110
Gambar 4.27 Grafik perbandingan <i>Coefficient of Power</i> antara turbin angin Savonius berpengganggu dan tanpa silinder pengganggu (CoP/CoP_0) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$ (Ielman, 2017)	110
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan nilai <i>Coefficient of Power</i> tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi <i>tip speed ratio</i> (λ) pada $Re = 97000$	111

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai koefisien hambat pada beberapa bentuk benda (Pritchard, et al., 2011)	13
Tabel 2.2 Variasi panjang plat penghalang (Altan, et al., 2008)	29
Tabel 3.1 Dimensi Primer Tiap Parameter CoP	43
Tabel 3.2 Dimensi Primer Tiap Parameter Cm.....	46
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Blower Axial Fan</i> CKE SPV-18.....	50
Tabel 3.4 Spesifikasi Anemometer Digital Omega HHF-141A ..	51
Tabel 3.5 Spesifikasi Tachometer Digital OMEGA HHT- 12 ...	52
Tabel 3.6 Spesifikasi Torsimeter Lutron TQ - 8800.....	53
Tabel 3.7 <i>Spesifikasi</i> voltage regulator	58

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL

A	Cross sectional area (m^2)
b	diameter poros turbin (m)
C_D	Koefisien <i>drag</i>
CoP	<i>Coefficient of Power</i>
D	Diameter sudu Turbin Savonius (m)
d	Diameter silinder pengganggu (m)
E_k	Energi kinetik (Joule)
F_D	Gaya <i>drag</i> (N)
g	gaya gravitasi (m/s^2)
H	Tinggi turbin Savonius (m)
t	Panjang silinder pengganggu (m)
\dot{m}	Massa udara yang mengalir tiap detik (kg/S)
m	Massa beban pemberat <i>brake dynamometer</i> (kg)
n	Putaran turbin (rpm)
P_{in}	Daya angin (watt)
P_{output}	Daya turbin (watt)
P	Tekanan udara saat penelitian dilakukan (N/m^2)
R	Jari-jari turbin (m)
R	Konstanta spesifik gas ($J/kg\ K$)
r	Jari-jari silinder pada poros turbin (m)
Re	Bilangan Reynolds
s	massa yang terbaca pada pegas <i>brake dynamometer</i> (kg)
T	Temperatur udara saat penelitian dilakukan ($^{\circ}K$)
T_s	Torsi statis dari putaran poros (N.cm)
U_{∞}	Kecepatan aliran <i>free stream</i> udara (m/s)
ρ	Massa jenis udara (kg/m^3)
μ	Viskositas udara (Ns/m^2)
τ	Torsi Dinamis yang dihasilkan turbin (N-m)
ω	Kecepatan angular turbin (rad/s)
λ	<i>Tip Speed Ratio</i>

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia tiap tahun terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi yang ada di Indonesia. Terlihat dari perkembangan industri dan teknologi yang ada di Indonesia. Sumber energi yang digunakan untuk memasok kebutuhan energi sebagian besar merupakan energi fosil. Cadangan minyak bumi Indonesia terbukti terus menurun dari 5,9 miliar barel pada tahun 1995 menjadi 3,7 miliar barel pada akhir 2015 (Fitriana & Niode, 2017). Dengan tingkat produksi minyak bumi saat ini dan jika tidak ada penemuan cadangan minyak bumi baru, maka cadangan terbukti minyak bumi Indonesia akan habis dalam kurun waktu 11 tahun lagi. Dengan demikian pada tahun 2035 Indonesia akan mengalami krisis energi, jika masih menggunakan minyak bumi sebagai sumber utama kebutuhan energi di Indonesia. Oleh karena itu diperlukan mencari sumber energi alternatif yang nantinya secara bertahap bisa menggantikan minyak bumi sebagai sumber utama energi di Indonesia. salah satu energi alternatif yang memiliki potensi besar dan belum berkembang di Indonesia energi angin.

Potensi sumber daya energi angin yang ada di Indonesia bisa mencapai 60.647 MW (**Statistik EBTKE, 2016**), berdasarkan (Fitriana & Niode, 2017) Sumber daya energi angin yang bisa dihasilkan adalah sebesar 970 MW dan kapasitas yang terpasang hanya sebesar 1.96 MW. Sebagian besar pembangkit listrik tenaga angin masih berada di bagian Indonesia timur. Energi angin di Indonesia sangat menjanjikan untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif, karena kecepatan angin rata rata yang ada

di Indonesia 2 m/s sampai dengan 9 m/s (Atlas, 2017), dimana kecepatan angin tersebut cocok untuk pembangkit listrik tenaga angin skala kecil dan menengah.

Salah satu jenis turbin angin yang cocok di aplikasikan di Indonesia adalah turbin angin Savonius, Turbin Savonius pertama diciptakan pada tahun 1922 oleh **Sigurd J. Savonius** yang berasal dari Finlandia. Turbin angin ini terdiri dari dua sudu yang berbentuk setengah silinder yang dirangkai sehingga berbentuk seperti huruf “S”. Satu sisi berbentuk cekung dan sisi yang lain berbentuk cembung, sudu pada turbin Savonius disebut juga sebagai *advancing blade* dan *returning blade*. karena turbin ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya yaitu dapat bekerja pada kecepatan angin rendah dan dari arah manapun, pembuatan yang mudah, instalasi dan perawatan yang mudah dan murah dan tidak harus dipasang di tempat tinggi.

Saat ini banyak sekali penelitian tentang turbin Savonius untuk meningkatkan efisiensi dari turbin ini, karena salah satu kelemahan dari turbin Savonius adalah rendah nya daya yang bisa dihasilkan dari turbin tersebut. Beberapa penelitian sebelumnya antara lain adalah jumlah sudu pada turbin Savonius Menurut penelitian (Diaz, et al., 2014), Model komputasi dari turbin Savonius, model yang digunakan untuk menganalisa empat jenis rotor menggunakan simulasi 3d transient regimen untuk menentukan *power coefficient* (cp) dan *torque coefficient* (cm). dari penelitian tersebut ditemukan bahwa blade dengan 3 rotor mempunyai performance yang rendah dari semua model yang di uji dengan *power coefficient* (cp), 0.073. Bahkan nilai efisiensi dari *torque coefficient* sangat rendah. Rotor dengan 2 *blade* 2 langkah dan rotor 2 *blade* modifikasi menghasilkan kinerja yang lebih baik daripada rotor dengan 3 *blade* , dengan nilai *power coefficient* (cp) sekitar 0,15 dan 0,13. Nilai ini lebih rendah dibandingkan dengan model *helical*. Model rotor Savonius dengan kumparan *helical*

memiliki hasil lebih baik dengan *power coefficient* (cp) dan *torque coefficient* untuk nilai cp 18% yang dapat dicapai dan nilai C_m -nya, lebih stabil antara 0,25 dan 0,35, hal ini menyebabkan nilai efisiensinya tinggi.

Kemudian pada penelitian selanjutnya oleh (Ielman, 2017) Studi eksperimen ini menunjukkan hasil bahwa pengaruh dari konfigurasi silinder pengganggu efektif untuk meningkatkan kinerja dari turbin angin Savonius. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan nilai kecepatan rotasi turbin (n), torsi statis turbin (T_{statis}), dan coefficient of power (CoP) ketika turbin angin Savonius diberi konfigurasi silinder pengganggu dengan turbin angin Savonius yang tidak diberi gangguan. Nilai coefficient of power yang paling besar diperoleh pada $S/D = 1,6$ untuk $Re = 6,0 \times 10^4$ sebesar 25,05%. Nilai maksimum coefficient of power diperoleh pada nilai tip speed ratio sebesar 0,95. Sementara kecepatan putaran dari turbin angin Savonius yang diperoleh pada $S/D = 1,6$ untuk $Re = 6,0 \times 10^4$ memiliki nilai sebesar 472,63 rpm dengan torsi statis yang diperoleh sebesar 8,8 N-cm.

Dari beberapa referensi penelitian – penelitian sebelumnya yang dicantumkan diatas dapat disimpulkan bahwa,masih diperlukan upaya penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan performa dari turbin angin tipe Savonius dengan memperbesar selisih nilai dari gaya *drag* yang dihasilkan dari *advancing blade* dengan *returning blade*, dengan cara penggunaan silinder pengganggu sirkular yang diletakkan di depan *returning blade* yang nantinya akan dilakukan pada aliran eksternal dan untuk mengurangi efek *blockage*. Sehingga dari penelitian ini nantinya bisa meningkatkan performa dari turbin angin Savonius dan bisa digunakan oleh masyarakat sebagai alternatif energi.

1.2 Rumusan Masalah

Turbin angin savonius memiliki dua sudu yaitu sudu yang berbentuk cekung dan cembung atau biasa disebut dengan *advancing blade* dan *returning blade*. Daya yang dihasilkan dari turbin angin savonius berasal selisih dari gaya drag antara *advancing blade* dan *returning blade*, dari perbedaan gaya tersebutlah turbin dapat bergerak. Semakin besar selisih dari gaya drag tersebut, maka daya yang dihasilkan semakin besar untuk menggerakkan turbin Savonius. Untuk meningkat daya pada turbin angin savonius diperlukan upaya untuk memperbesar nilai dari selisih gaya drag antara *advancing blade* dan *returning blade*.

Salah satu cara untuk mengurangi gaya hambat yang diterima oleh *returning blade* adalah dengan memberi gangguan di bagian depan *returning blade* untuk memperbesar selisih dari gaya drag yang nantinya bisa memperbesar torsi pemutar dari turbin Savonius ini sehingga akan memperbesar daya dari turbin yang dihasilkan.

Pada penelitian turbin angin savonius ini, akan dilakukan analisis pengaruh peletakan silinder didepan *returning blade* dengan jarak (s) dan diameter silinder (D), dan variasi (y/D) dan dalam kondisi aliran eksternal, Hipotesa awal pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penempatan penghalang didepan *returning blade* berupa silinder yang tegak lurus dengan arah aliran angin (y) yang dapat menurunkan nilai gaya drag yang timbul pada *returning blade*. Hali ini disebabkan oleh wake yang terjadi pada silinder pengganggu mempercepat perubahan *boundary layer* menjadi turbulen pada *returning blade* dan titik separasi mundur kebelakang. Sehingga *wake* yang sempit dan gaya drag pada *returning blade* turun. Oleh karena itu selisih gaya *drag* antara *returning blade* dan *advancing blade* akan semakin besar. Dengan bertambah besar selisih gaya *drag* pada kedua sudu

turbin, maka nilai torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin menjadi lebih besar.

2. Variasi penempatan silinder pengganggu yang tegak lurus dengan arah aliran angin terhadap diameter turbin Savonius (y/D) yaitu, 0; 0,25; 0,5 bertujuan untuk mendapatkan posisi optimum dimana wake yang dihasilkan oleh silinder pengganggu dapat secara efektif menunda titik separasi dari *returning blade* sejauh mungkin ketika turbin berputar, nilai gaya drag *returning blade* semakin kecil dan selisih gaya drag kedua sudu akan semakin meningkat di sisi lain. Silinder pengganggu pada posisi (y/D) tertentu diduga dapat mengarahkan aliran udara menuju sisi *advancing blade* lebih banyak. Sehingga gaya drag yang dihasilkan pada sisi *advancing blade* akan semakin meningkat seiring dengan pergeseran posisi y menuju *advancing blade* hingga mencapai posisi optimum. Sehingga nilai torsi dan daya akan meningkat pada jarak y optimum dan menurun seiring dengan melewati jarak y optimum.
3. Penempatan silinder pengganggu dengan diameter $d/D = 1$ terhadap turbin angin Savonius dapat menyebabkan nilai tekanan di depan *returning blade* turbin angin Savonius menjadi lebih rendah dibandingkan dengan turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu. Hal ini disebabkan karena tidak adanya titik stagnasi pada *returning blade* turbin angin Savonius sehingga nilai *pressure drag* pada *returning blade* turbin angin Savonius memiliki nilai yang rendah. Oleh karena itu selisih gaya drag antara *returning blade* dan *advancing blade* akan semakin besar. Dengan bertambah besar selisih gaya drag pada kedua sudu turbin, maka nilai torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin menjadi lebih besar.

Untuk membuktikan penelitian diatas maka dilakukan penelitian dengan menggunakan turbin Savonius yang diberi penghalang berupa silinder dibagian depan *returning blade* dengan perbandingan diameter (d/D) 1,0; perbandingan (S/D) 1,8 , variasi

perbandingan (y/D) 0; 0,25; 0,5 dan *variasi* bilangan Reynolds 97000; 145000; 178000

1.3 Batasan Masalah

Adapaun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini agar hasil yang didapat sesuai dengan tujuan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Analisa dilakukan pada turbin angin tipe Savonius dengan diameter (D) sebesar 165,2 mm
2. Penghalang berbentuk silinder dengan diameter 165,2 mm ditempatkan didepan *returning blade*.
3. Aliran udara diasumsikan *uniform, steady flow, incompressible, uniform* dan satu arah.
4. Rasio perbandingan $d/D = 1,0$ dan $S/D = 1,8$
5. Variasi penempatan silinder pengganggu berupa perbandingan y/D dari 0; 0,25; 0,5
6. Variasi bilangan Reynolds 97000; 145000; 178000

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius dengan meletakkan silinder pengganggu di depan *returning blade* dengan variasi jarak silinder ke *returning blade* dengan rasio perbandingan (S/D) = 1,8 dan (d/D) = 1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan variasi bilangan Reynolds 97000; 145000; 178000 dan kemudian menganalisa serta mengukur:

1. Mengukur putaran dari turbin angin Savonius saat turbin dibiarkan berputar saat diberi aliran udara
2. Mengukur torsi statis dari turbin Savonius saat diberi aliran udara
3. Mengukur torsi dinamis dari turbin Savonius saat diberi aliran udara

4. Mengukur *Coefficient of Power* dari turbin Savonius saat diberi aliran udara

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan didapatkan dari penelitian tentang penempatan pengalang berupa silinder pengganggu di depan *returning blade* pada turbin angin Savonius ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan penjelasan mengenai pengaruh pemberian silinder penghalang terhadap nilai torsi, putaran dan *coefficient of power* turbin angin Savonius.
2. Memberikan penjelasan mengenai pengaruh rasio perbandingan (S/D), (d/D), dan (y/D) terhadap nilai torsi, putaran dan *coefficient of power* turbin angin Savonius.

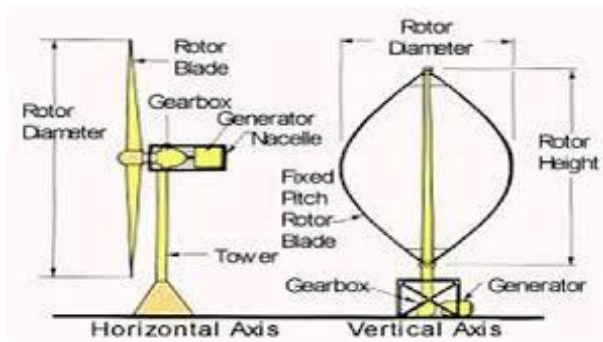
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah salah satu turbin yang sedang banyak dikembangkan sampai saat ini, karena turbin angin hanya memerlukan angin sebagai penggerakannya, dimana energi kinetik dari angin diubah menjadi energi mekanik berupa putaran dari poros turbin. Putaran poros yang menghasilkan energi mekanik ini nantinya ditransmisikan ke generator agar bisa dikonversikan ke energi listrik. Sampai saat ini turbin angin secara umum terbagi menjadi dua, yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT)



Gambar 2.1 Perbedaan Turbin Angin Berdasarkan Axis

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) adalah jenis turbin angin yang poros utamanya berputar searah dengan arah aliran angin. Jenis turbin HAWT memiliki bentuk *blade* seperti *airfoil* yang biasanya diaplikasikan pada sayap pesawat, yang mana pada turbin angin ini memanfaatkan gaya angkat pada blade yang ditimbulkan oleh aliran angin untuk memutar turbin. Turbin angin

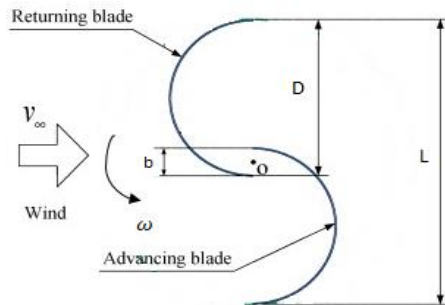
ini sangat bagus digunakan untuk skala pembangkit angin skala besar karna memiliki efisiensi yang tinggi dan cocok pada kecepatan angin sedang dan tinggi. Desain terhadap turbin angin mempengaruhi kelebihan dan kekurangan dari turbin seperti jumlah *blade* pada HAWT biasanya bervariasi tergantung dengan kondisi angin, mulai dari satu *blade*, dua *blade* sampai ke banyak *blade*. Jumlah *blade* mempengaruhi dari putaran turbin semakin banyak jumlah *blade* pada turbin maka putarannya akan semakin tinggi. Dari banyak kelebihan yang dimiliki turbin ini juga memiliki kekurangan yaitu semakin tinggi tiang penyangga dan semakin panjang sudu maka akan semakin besar biaya instalasi dari turbin ini dan juga harus membutuhkan kontrol dan mekanisme untuk mengarahkan *blade* ke arah aliran angin.

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) adalah jenis turbin angin yang poros utamanya berputar tegak lurus dengan arah aliran angin. Turbin angin VAWT mempunyai beberapa jenis yaitu turbin angin tipe *Savonius* dan *Darrieus*. Turbin angin ini bisa menerima aliran angin dari arah manapun, turbin angin jenis ini memiliki beberapa keunggulan lainnya yaitu memiliki torsi yang tinggi dan bisa digunakan di kecepatan angin rendah, dapat ditempatkan di tempat rendah dari permukaan sehingga tidak memerlukan biaya yang besar untuk membuat struktur penyangga yang besar, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga memudahkan dalam proses *maintenance*. Akan tetapi dari beberapa kelebihan tadi turbin jenis ini juga memiliki kekurangan yaitu karna turbin ditempatkan di dekat permukaan tanah yang memiliki kecepatan angin yang cukup rendah maka mengakibatkan efisiensi dari turbin cukup rendah.

2.2 Turbin Angin Savonius

Salah satu jenis turbin angin VAWT adalah turbin angin *Savonius* yang pertama kali dikembangkan pada tahun 1922 oleh insinyur yang berasal dari Finlandia, Sigurd Johannas Savonius. Turbin angin *Savonius* terdiri atas 2 sudu yang berbentuk setengah silinder yang disusun berlawanan arah yang membentuk seperti

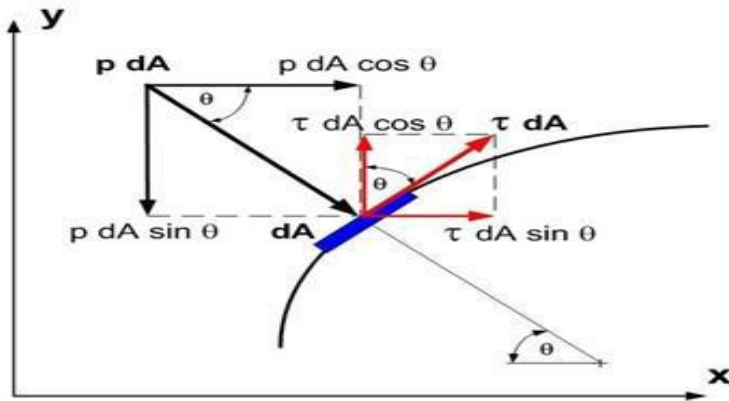
huruf ‘S’. Turbin ini adalah turbin angin yang menghasilkan daya dari memanfaatkan selisih dari gaya drag yang dihasilkan dari sudu turbinnya. Pada turbin angin ini sudu turbin terdiri atas dua *blade* yaitu *advancing blade* dan *returning blade* seperti terlihat pada gambar 2.2 dimana terlihat perbedaan diantara kedua blade terletak pada bentuk cekungan pada sudu turbin. *Advancing blade* berbentuk cekung dan *returning blade* berbentuk cembung.



Gambar 2.2 Ilustrasi Turbin Savonius

2.3 Gaya Drag dan Koefisien Drag

Solid body yang melewati aliran *viscous* akan menerima gaya total \vec{F} . Gaya ini berasal dari tegangan permukaan yang muncul akibat adanya aliran fluida. Untuk mendefinisikan gaya total \vec{F} , komponen gaya perlu diuraikan menjadi dua gaya, yaitu gaya angkat (*lift force*) dan gaya hambat (*drag force*). Gaya angkat didefinisikan sebagai komponen gaya pada sebuah *body* yang tegak lurus terhadap arah gerak relatifnya. Gaya *drag* adalah sebuah komponen gaya yang bekerja pada sebuah bodi dengan arah parallel terhadap arah gerak relatifnya. Gaya *drag* atau yang biasa disebut dengan gaya hambat adalah gaya yang disebabkan karena adanya tegangan geser (*friction drag*) dan gaya akibat dari tekanan yang sejajar dengan arah aliran datang (*pressure drag*). Sehingga penjumlahan dari *friction drag* dan *pressure drag* merupakan gaya hambat total.



Gambar 2.3 Penguraian komponen gaya hambat dan gaya angkat (Pritchard, et al., 2011)

Dari Gambar 2.3 maka dapat dirumuskan besarnya gaya hambat adalah sebagai berikut:

$$FD = FD_p + FD_f$$

$$FD = \cos \theta \int p dA \sin \theta + \int \tau dA \sin \theta \quad (2.1)$$

Gaya *drag* dari aliran fluida yang bekerja bergantung terhadap beberapa hal yaitu koefisien drag, kecepatan aliran, densitas udara dan luasan benda yang menerima gaya. Untuk mengetahui gaya hambat dan koefisien hambat dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot A} \quad (2.2)$$

dimana :

CD : Koefisien Hambat

FD: Gaya Hambat

ρ : Densitas fluida
 U : Kecepatan Fluida
 A : Luas permukaan

Dari persamaan diatas dapat digunakan untuk aliran inkompresibel pada berbagai bentuk benda. Koefisien drag adalah bilangan yang tak berdimensi yang biasa nya digunakan untuk mengetahui besar nya gaya drag yang diterima benda tersebut.

Tabel 2.1 Nilai koefisien hambat pada beberapa bentuk benda (Pritchard, et al., 2011)

Object	Diagram	$C_D (Re \geq 10^3)$
Square Prism		$b/h = \infty$ 2.05
		$b/h = 1$ 1.05
Disk		1.17
Ring		1.20
Hemisphere (open end facing flow)		1.42
Hemisphere (open end facing downstream)		0.38
C-section (open side facing flow)		2.30
C-section (open side facing downstream)		1.20

Dari table diatas didapat nilai C_D untuk setiap *blade* pada turbin angin Savonius yaitu C_D untuk *advancing blade* dengan $Re \geq 10^3$ adalah 2,30 dan C_D untuk *returning blade* $Re \geq 10^3$ adalah 1,20.

2.4 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio adalah rasio antara kecepatan angin dengan kecepatan tangensial di ujung sudu turbin angin. TSR yang dilambangkan dengan λ dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{U} \quad (2.3)$$

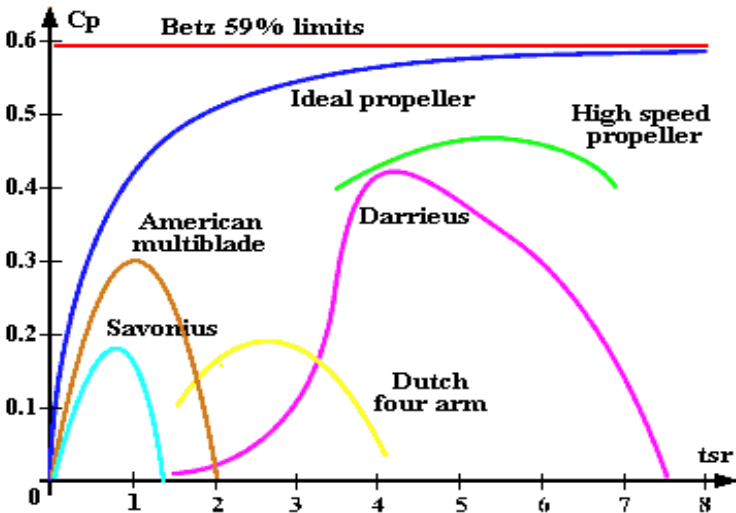
keterangan:

: *tip speed ratio*

ω : kecepatan sudut turbin (rad/s)

R : jari-jari turbin (m)

U : kecepatan angin (m/s)



Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara *Coefficient Of Power* Dengan *Tip Speed Ratio* untuk Berbagai Jenis Turbin Angin (Pritchard, et al., 2011)

Tip speed ratio digunakan untuk menganalisis performa pada turbin angin. Pada diagram $C_p - \lambda$ dimana C_p adalah *coefficient of power*, dapat terlihat bahwa tiap jenis turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda. Berdasarkan gambar 2.4 dapat dilihat tiap jenis turbin angin *coefficient of power* akan mencapai titik optimum pada *tip speed ratio* tertentu. Masing-masing turbin angin memiliki titik kerja awal yang berbeda. Apabila titik kerja awal suatu turbin terletak pada nilai TSR yang rendah, artinya turbin tersebut dapat bekerja pada kecepatan angin yang rendah. Sehingga diperlukan mempertimbangan kecepatan angin.

2.5 Daya Pada Turbin

Energi yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius berasal dari konversi energi kinetik yang dibawa oleh angin. Energi kinetik yang dibawa oleh angin merupakan energi dari massa udara yang memiliki kecepatan tertentu. Besarnya energi kinetik yang dibawa oleh angin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E_K = \frac{1}{2} mU^2 \quad (2.4)$$

2.5.1 Daya input

Dari persamaan 2.4 maka dapat dihitung daya *input* untuk turbin angin Savonius ialah sebagai berikut:

$$P_{input} = \frac{W}{t} = \frac{E_K}{t}$$

$$P_{input} = \frac{\frac{1}{2}mU^2}{t} \quad (2.5)$$

dimana,

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot U \cdot A \quad (2.6)$$

Maka persamaan daya yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$P_{input} = \frac{1}{2} \dot{m}U^2$$

$$P_{input} = \frac{1}{2} (\rho \cdot U \cdot A)U^2$$

$$P_{input} = \frac{1}{2} \rho AU^3 \quad (2.7)$$

dimana:

P_{in} : Daya kinetik angin (*Watt*)

E_K : Energi kinetik angin (*Joule*)

t : waktu (*s*)

m : laju aliran massa ($\frac{kg}{s}$)

ρ : massa jenis udara ($\frac{kg}{m^3}$)

U : kecepatan aliran udara ($\frac{m}{s}$)

A : luas penampang turbin (m^2)

2.5.2 Daya Output

Turbin angin Savonius ketika bergerak juga menghasilkan daya mekanis yang mana akan menjadi daya output dari turbin Savonius yang akan diteruskan ke generator yang nantinya akan menghasilkan daya listrik. Daya mekanis dari turbin angin savonius ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$W = Fds \quad (2.8)$$

$$P_{output} = \frac{dW}{dt}$$

$$P_{output} = \frac{Fds}{dt}$$

$$P_{output} = F \cdot v$$

$$P_{output} = F \cdot R \cdot \omega \quad (2.9)$$

dimana,

$$T = F \cdot R \quad (2.10)$$

maka,

$$P_{output} = T \cdot \omega \quad (2.11)$$

2.5.3 Coefficient of Power

Coefficient of Power adalah perbandingan daya yang dihasilkan oleh turbin terhadap daya angin yang didapatkan oleh

turbin. Efisiensi dari turbin angin berbanding lurus *Coefficient of Power* sehingga semakin tinggi nilai dari *Coefficient of Power* maka efisiensi dari turbin angin akan semakin baik. Persamaan rumus dari *Coefficient of Power* ditulis sebagai berikut:

$$CoP = \frac{P_{output}}{P_{input}}$$

$$CoP = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho AU^3} \quad (2.12)$$

dimana,

P_{out} : Daya mekanis turbin (*Watt*)

W : Usaha (*Joule*)

F : Gaya (*Newton*)

ds : Perpindahan (*m*)

v : kecepatan tangensial ($\frac{m}{s}$)

ω : kecepatan sudut ($\frac{rad}{s}$)

R : jari jari (*m*)

T : Torsi (*Nm*)

2.5.4 Coefficient of Moment

Coefficient of moment (C_m) adalah rasio antara torsi statis yang dihasilkan oleh turbin dengan torsi yang dihasilkan angina terhadap parameter geometri dari turbin angin Savonius. Besar nilai C_m dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_m = \frac{T_d}{\frac{1}{2}\rho R^2 H U^2} \quad (2.14)$$

C_m : *Coefficient of Moment*

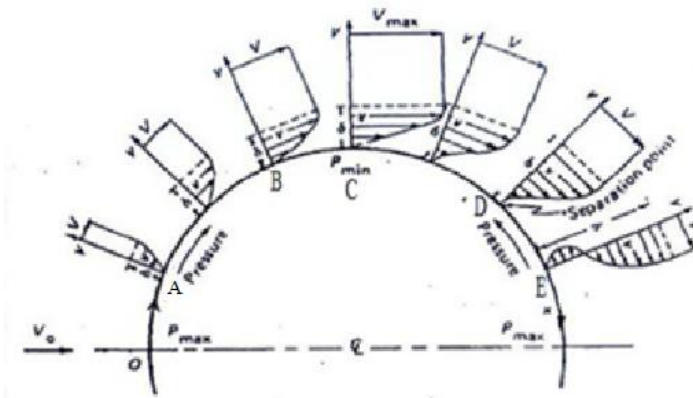
τ : Torsi dinamis turbin yang diukur dengan *Brake Dynamometer*
(*N.cm*)

H : tinggi turbin angin Savonius

R : Jari-jari sudu turbin angin Savonius

2.6 Fenomena Aliran Melintasi Silinder

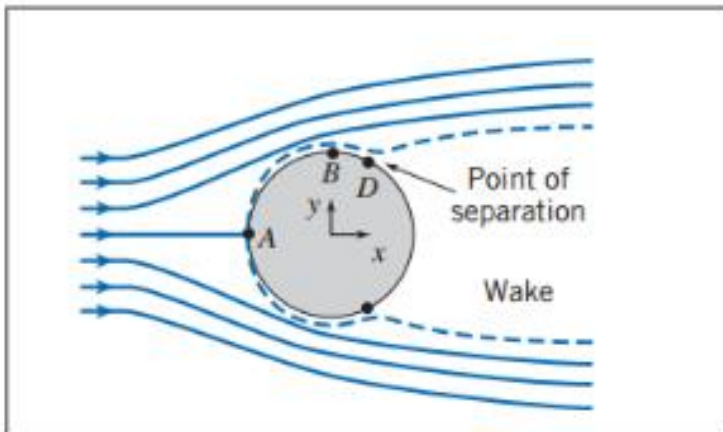
Karakteristik aliran fluida yang melintasi suatu benda juga akan dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti bentuk dan permukaan benda, kecepatan dan sifat fluida. Aliran fluida yang melintasi sebuah bodi silinder akan mengalami perubahan aliran mengikuti kontur dari silinder tersebut. Pada gambar 2.5 ditunjukkan adanya perubahan profil kecepatan aliran fluida di sepanjang permukaan silinder.



Gambar 2.5 Profil kecepatan aliran fluida melewati silinder

Pada titik O fluida yang melintasi silinder menabrak silinder sehingga kecepatan fluida menjadi nol dan pada titik tersebut mengalami tekanan yang maksimum. Akan tetapi kecepatan aliran fluida pada titik A mempunyai kecepatan aliran fluida yang terus meningkat sampai kecepatan maksimum pada titik C seiring dengan menurunnya tekanan yang minimum $[\frac{\partial P}{\partial \theta} > 0]$. Kemudian setelah melewati titik C fluida mengalami peningkatan tekanan atau yang biasa disebut dengan *adverse pressure gradient* dan ini menyebabkan partikel fluida dalam *boundary layer* menjadi lambat $[\frac{\partial P}{\partial \theta} > 0]$. Pada titik D momentum partikel fluida berkurang terus oleh gaya tekan dan gaya geser,

sehingga aliran fluida dipermukaan diperlambat hingga diam dan gradient kecepatan menjadi nol $\left[\frac{\partial U}{\partial y} \right]_{y=0} = 0$. Pada titik ini adalah titik separasi dimana terjadi peristiwa peisahan aliran dari permukaan kontur. Dititik E terjadi adverse pressure gradient yang cukup oleh karena itu aliran didekat permukaan telah berbalik arah dan fluida sudah tidak mampu mengikuti bentuk dari permukaan dan menjauhinya.. Penyebab dari titik separasi ini adalah momentum yang digunakan untuk menggerakkan fluida sudah tidak mampu lagi mengatasi gaya gesek dan tekanan balik (adverse pressure gradien).



Gambar 2.6 Titik terjadinya separasi dan Daerah Wake

Jika separasi terjadi, maka akan terbentuk daerah di belakang silinder yang tidak tersentuh oleh aliran yang disebut wake. Daerah wake adalah daerah bertekanan rendah yang dibentuk oleh terpisahnya boundary layer bagian atas dan bagian bawah. Lebar dari wake dipengaruhi oleh posisi titik separasi. Setiap aliran memiliki titik separasi yang berbeda beda. Pada kasus aliran turbulen memiliki titik separasi yang lebih jauh, sehingga boundary layer lebih mampu untuk bertahan terhadap adverse pressure gradient dan gaya gesek. Daerah wake pada aliran

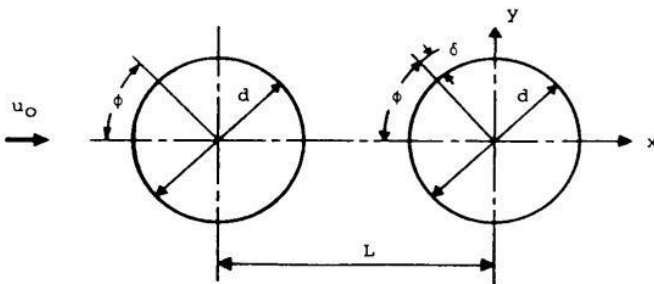
turbulen yang terbentuk akan semakin kecil. Besar daerah wake berbanding lurus dengan gaya drag yang dihasilkan pada daerah tersebut.

2.7 Penelitian Terdahulu

Untuk melakukan penelitian ini, diperlukan beberapa referensi dari penelitian pnelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang nantinya akan dilakukan. Diantara penellitian yang ada diambil beberapa penelitian yang dirasa perlu diantaranya yaitu: penelitian tentang silinder berpengganggu, turbin angin Savonius berpengganggu.

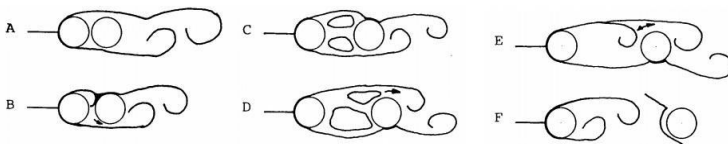
2.7.1 Penelitian tentang Silinder Berpengganggu

Penelitian tentang aliran fluida yang melalui sebuah silinder yang diganggu yang diganggu oleh silinder lain yang memiliki diameter yang sama, dilakukan oleh (Igarashi, 1981) Silinder sirkular yang disusun tandem dengan perbandingan ($d/D = 1$). Adapun variasi yang dilakukan pada penelitian ini variasikan jarak antara kedua pusat silinder (L/D) yaitu $1,03 - 5,0$ dan perubahan Reynolds Number pada rentang $8,7 \times 10^3 \leq Re \leq 5,2 \times 10^4$. Terbentuk beberapa vortex diantara kedua silinder yang mempengaruhi karakteristik aliran yang melewati silinder. Dibawah ini skema penelitian yang dilakukan seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Penelitian (Igarashi, 1981)

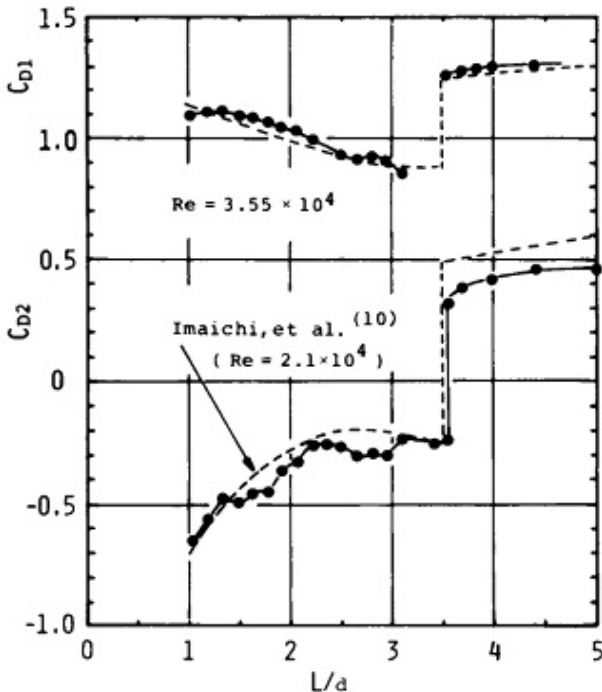
Visualisasi aliran yang melewati silinder dapat dilihat pada gambar 2.7 pada gambar bagian A dengan jarak tertentu separasi yang terjadi pada *boundary layer* pada sisi *upstream* dan *downstream* silinder, namun tidak terdapat pembentukan *vortex* pada variasi jarak A. Pada bagian B dengan variasi jarak tertentu, terdapat pembentukan *vortex*. Namun frekuensi pembentukan *vortex* tidak terlalu memiliki pengaruh pada karakteristik aliran sehingga kecepatan pada *section* tersebut hampir tidak memiliki pengaruh terhadap kecepatan aliran *freestream*. Pada bagian C dengan variasi jarak tertentu, terbentuk *vortices* tergolong kedalam bentuk *Quasi-stationary vortex* diantara kedua silinder. Pada bagian D dengan variasi jarak tertentu, *Quasi-stationary vortex* menjadi tidak stabil yang menyebabkan terbentuknya suatu *vortex shedding* yang menyebabkan arah aliran fluida berubah menuju silinder utama pada sisi *downstream* silinder. Pada bagian E dengan variasi jarak tertentu, aliran sudah menunjukkan kestabilan dengan pola yang berkelanjutan. Pada bagian F dengan variasi jarak tertentu, separasi pada *boundary layer* terjadi pada sisi *upstream* silinder atau di depan sisi *downstream* silinder.



Gambar 2.8 Visualisasi aliran yang melewati silinder tandem (Igarashi, 1981)

Pada gambar 2.9 di bawah terlihat trendline grafik nilai C_d kedua silinder berbeda seiring dengan penambahan variasi besar L/d . Pada silinder pertama mengalami penurunan nilai C_d terhadap kenaikan nilai L/d . Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa gaya drag yang diterima oleh silinder pertama semakin mengecil seiring penambahan jarak antara kedua pusat silinder. Namun mengalami kenaikan nilai C_d pada posisi $L/d = 3,5$. Silinder kedua atau silinder yang berada di belakang mengalami kondisi yang

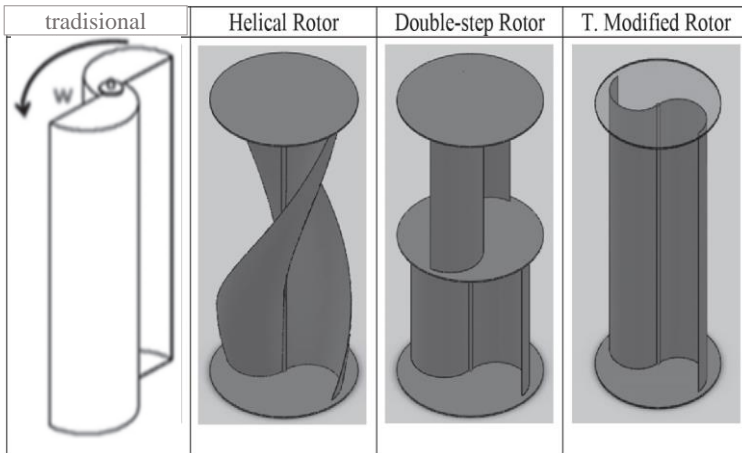
berbeda. Nilai C_d mengalami peningkatan pada kenaikan besar L/d . Nilai C_d silinder kedua berada pada rentang nilai minus. Hal itu menjelaskan bahwa gaya drag yang diterima silinder kedua bekerja dengan arah yang berlawanan dengan arah datangnya aliran fluida. Namun pada jarak $L/d = 3,5$ menghasilkan nilai C_d positif yang menandakan bahwa gaya drag yang diterima silinder kedua searah dengan arah datangnya aliran fluida. Dapat disimpulkan dari penelitian ini bahwa penambahan konfigurasi silinder sirkular dengan diameter yang sama di depan sebuah silinder sirkular, mengakibatkan silinder yang berada di belakang mengalami gaya drag yang justru berlawanan arah dengan arah datangnya aliran pada besar $L/d = 1,03 - 3,5$.



Gambar 2.9 Grafik pengaruh perubahan L/d terhadap nilai koefisien drag (C_D) (Igarashi, 1981)

2.7.2 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin dengan Metode Komputasi

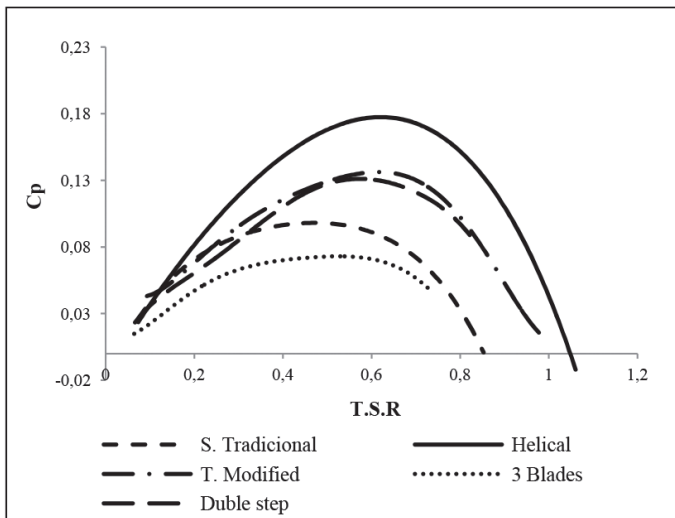
Penelitian ini bertujuan meningkatkan kinerja turbin Savonius yang dilakukan oleh (Diaz, et al., 2014), dengan menggunakan model komputasi dari turbin Savonius, model yang digunakan untuk menganalisa empat jenis rotor menggunakan simulasi 3d transient regimen untuk menentukan *power coefficient* (cp) dan *torque coefficient* (cm). Penelitian menganalisa empat jenis rotor yang berbeda yang diharapkan bisa mendapatkan efisiensi yang lebih baik dari turbin angin Savonius tradisional. Empat jenis rotor itu adalah *three blades rotor*, *helical rotor*, *double step rotor*, *T. modified rotor*. *Swept area* pada semua model sama, yang memiliki ketinggian rotor sebesar 0,2 m dan diameter 0,09 m. Adapun model dari keempat jenis model turbin Savonius dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah:



Gambar 2.10 Model rotor turbin Savonius (Diaz, et al., 2014)

Pada gambar 2.11 grafik perbandingan dari keempat model turbin angin Savonius didapatkan hasil dari penelitian yang menunjukkan bahwa nilai cp dengan nilai efisiensi tertinggi pada

T.S.R 0,6 pada setiap model. Efisiensi dari turbin angin Savonius konvensional mendekati 10%, model turbin angin Savonius dengan *three blades* memiliki efisiensi yang paling rendah sebesar 7% dimana lebih rendah dibandingkan turbin angin Savonius konvensional, kemudian model *T modified* nilai Coefficient of power dapat mencapai 15% . Model Turbin Savonius dengan *2 step* menunjukkan nilai C_p sebesar 13% lebih rendah dibandingkan dengan model *T modified*. Pada model *helical rotor* nilai C_p dapat mencapai 18 % yang merupakan nilai C_p tertinggi dari semua model.

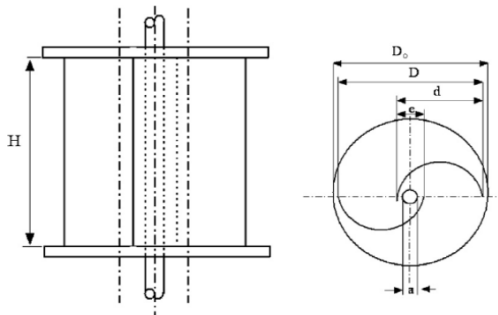


Gambar 2.11 Coefficient of Power Vs TSR (Diaz, et al., 2014)

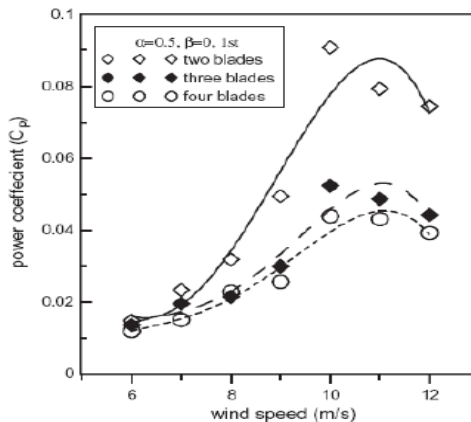
2.7.3 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius

Penelitian yang dilakukan oleh (Mahmoud, et al., 2010) tentang peningkatan performa turbin angin Savonius dengan memvariasikan jumlah *blade* pada turbin Savonius yaitu dua *blades*, tiga *blades*, empat *blades* rotor. Turbin Savonius dengan dua *blades* ternyata lebih efisien dibandingkan dengan jumlah tiga

blades dan empat *blades*, dimana dapat terlihat pada gambar 2.15 terlihat grafik perbandingan C_p terhadap kecepatan angin menunjukkan bahwa dua *blades* memiliki nilai c_p mencapai 0,09 pada kecepatan 10 m/s.



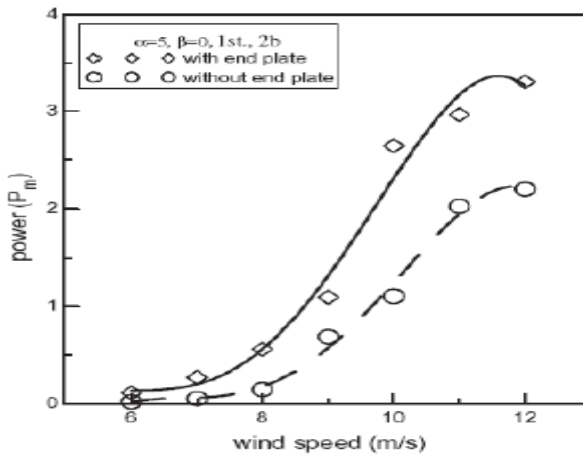
Gambar 2.12 skema turbin angin Savonius single stage (Mahmoud, et al., 2010)



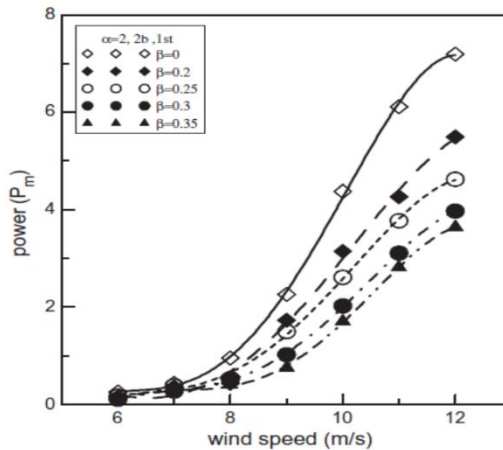
Gambar 2.13 Grafik perbandingan C_p dan V pada rotor dua, tiga dan 4 blades (Mahmoud, et al., 2010)

Pada penelitian ini juga melakukan eksperimen dengan membandingkan pengaruh turbin angin Savonius menggunakan

end plate dengan tidak menggunakan *end plate*. Pada gambar 2.13 grafik perbandingan *power* dengan kecepatan angin menunjukkan bahwa turbin Savonius dengan menggunakan *end plate* dapat memberi daya mekanik yang lebih tinggi dari pada turbin Savonius tanpa menggunakan *end plate*. Ini disebabkan karena jumlah udara yang meningkat ketika menabrak *blade* pada turbin Savonius



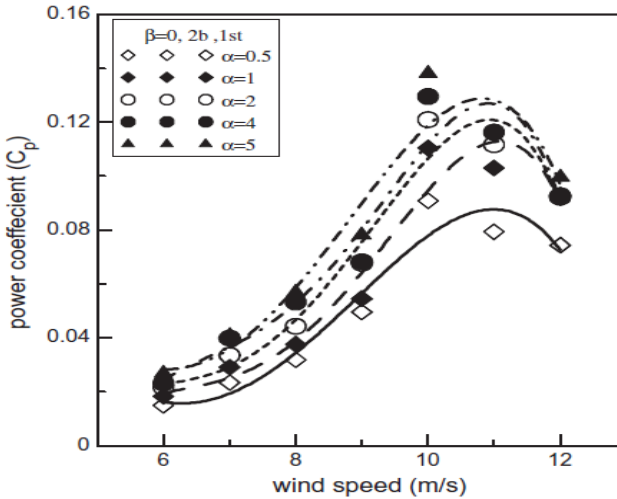
Gambar 2.14 Grafik turbin Savonius tanpa end plate dan menggunakan end plate (Mahmoud, et al., 2010)



Gambar 2.15 Grafik Perbandingan Power dan V pada 2 blade, $\alpha = 2$ terhadap variasi β (Mahmoud, et al., 2010)

Pada gambar 2.15 terlihat grafik hubungan antara *mechanical power* dan kecepatan angin untuk mengetahui pengaruh variasi overlap ratio dari nilai 0 sampai 0,35 pada turbin Savonius dua *blade* dan *single stage*. Pada grafik menunjukkan bahwa turbin Savonius tanpa *overlap* menghasilkan *mechanical power* yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin Savonius dengan menggunakan *overlap*

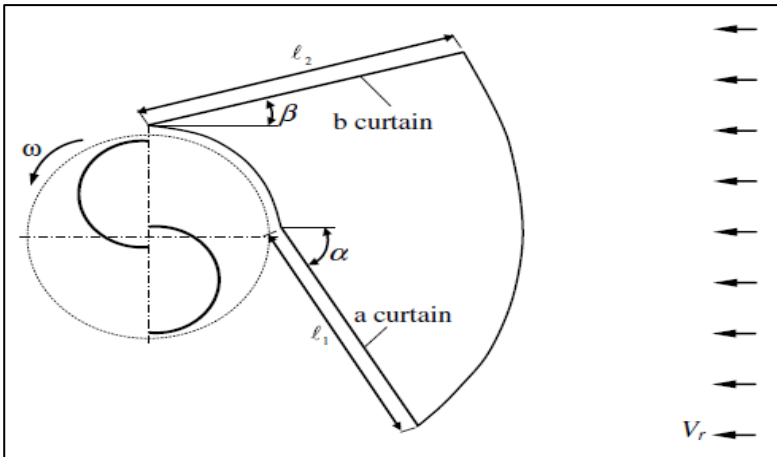
Pada Gambar 2.16 terlihat grafik hubungan antara *power coefficient* dan kecepatan angin untuk mengetahui pengaruh variasi *aspect ratio* dari nilai 0 sampai 0,5 pada turbin Savonius dua *blade* dan *single stage*. Pada grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai α maka nilai *power coefficient* juga meningkat.



Gambar 2.16 Grafik Perbandingan Power dan V pada 2 blade, $\beta = 0$ terhadap variasi α (Mahmoud, et al., 2010)

2.7.4 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius dengan Plat Penghalang

Penelitian ini bertujuan meningkatkan kinerja turbin Savonius yang dilakukan oleh (Altan, et al., 2008). Untuk meningkatkan performa turbin ditambahkan plat penghalang yang ditempatkan di depan *advancing blade* yang berfungsi sebagai penutup atau penyearah aliran. Variasi plat penghalang yang digunakan adalah panjang plat penghalang (l_1) dan (l_2) berdasarkan tabel 2.2 serta variasi besar sudut (α) dan (β). Sedangkan variasi data yang digunakan adalah *tip speed ratio* pada rentang 0 – 0,9) dengan kecepatan angin 7 m/s serta bilangan Reynolds $1,5 \times 10^5$. Adapun skema peralatan yang digunakan sesuai pada gambar dibawah ini:

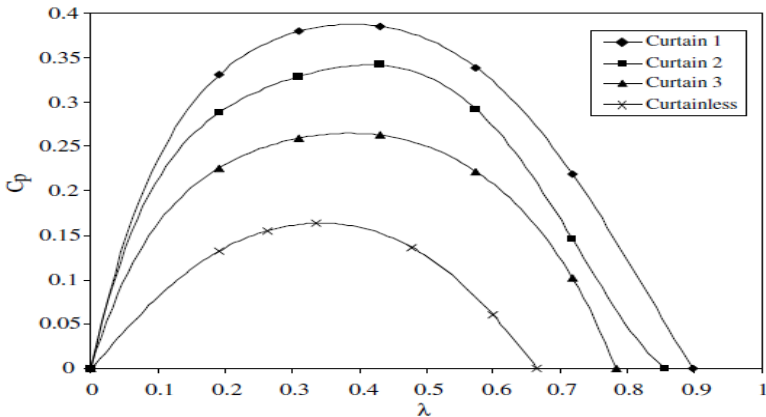


Gambar 2.17 Skema Turbin angin dengan plat penghalang (Altan, et al., 2008)

Tabel 2.2 Variasi panjang plat penghalang (Altan, et al., 2008)

Type of curtain arrangement	Distance ℓ_1 (cm)	Distance ℓ_2 (cm)
Curtain 1	45	52
Curtain 2	34	39
Curtain 3	22	26

Penempatan plat penghalang yang optimal terdapat pada sudut (α) = 45° dan (β) = 15° melalui beberapa pengambilan data dengan beberapa variasi sudut tertentu. Pada gambar 2.17 menunjukkan grafik pengaruh penempatan plat penghalang terhadap nilai *coefficient of power* (*Cop*) dengan variasi *tip speed ratio*. Dari grafik dibawah didapatkan adanya kenaikan nilai *Cop* akibat adanya plat penghalang. Nilai *Cop* optimum tanpa plat penghalang sebesar 0,16 sedangkan nilai *Cop* optimum dengan menggunakan plat penghalang didapatkan pada jenis konfigurasi plat penghalang 1 pada sudut (α) = 45° dan (β) = 15° yaitu sebesar 0,385. Penggunaan konfigurasi alat dalam penelitian ini mampu meningkatkan *coefficient of power* sebesar 38,5%.

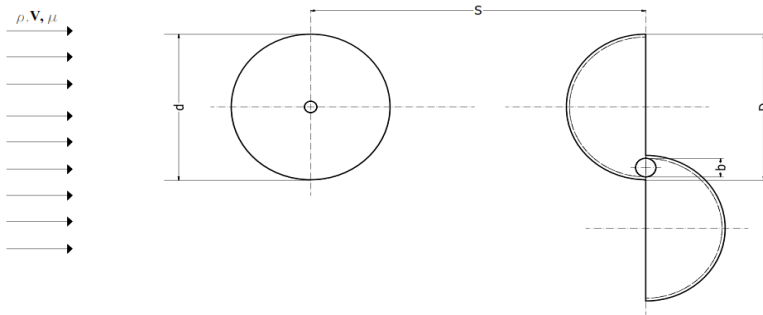


Gambar 2.18 Grafik pengaruh plat penghalang terhadap nilai C_p dengan variasi *tip speed ratio* (Altan, et al., 2008)

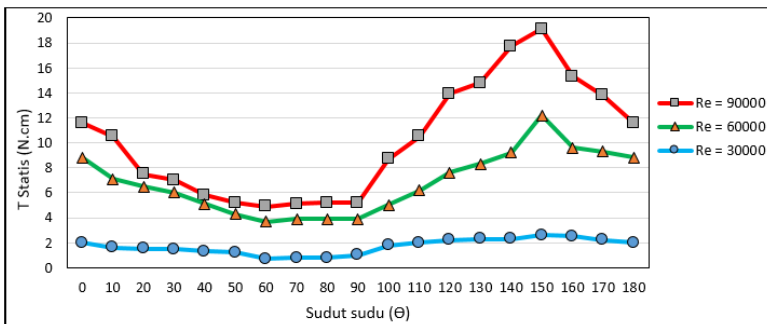
2.7.5 Penelitian tentang Peningkatan Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu

Penelitian tentang aliran fluida yang melalui turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu didepan *returning blade* yang dilakukan oleh (Ielman, 2017). Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan turbin angin Savonius yang memiliki diameter (D) = 101,6 mm dan tinggi (H) = 300 mm, dan sebagai pengganggu digunakan silinder sirkular yang memiliki diameter (d) = 50,8 mm dan diletakkan di depan *returning blade* turbin. Pengganggu tersebut diletakkan dengan variasi jarak $1,5 \leq S/D \leq 2,4$. Penelitian dilakukan pada area terbuka dengan angin yang dihembuskan *blower*. Pada kecepatan angin masuk sebesar 2,47 m/s; 4,95 m/s; 7,42 m/s yang sesuai dengan bilangan Reynolds (Re) = $3,0 \times 10^4$; $6,0 \times 10^4$; $9,0 \times 10^4$ (berdasarkan pada panjang karakteristik $I = 2D-b$, dimana b adalah lebar overlap dua sudu turbin, dan kecepatan angin). Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer. Putaran dari turbin angin diukur menggunakan tachometer, torsi statis menggunakan torque meter

dan daya turbin angin diperoleh dengan mengukur gaya untuk membebani turbin pada poros turbin Savonius.



Gambar 2.19 Skema Penelitian tampak atas dan tampak samping (Ielman, 2017)

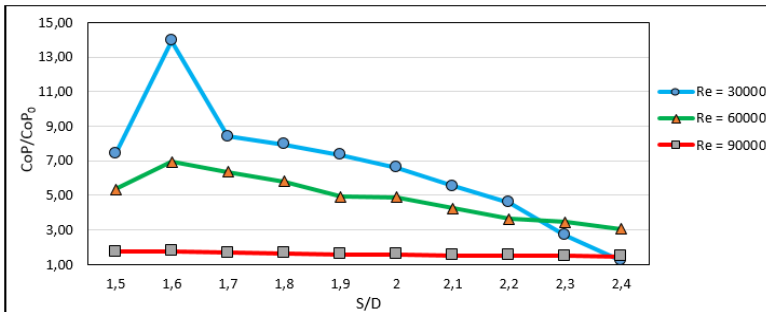


Gambar 2.20 Grafik Tstatis turbin berpengganggu sebagai fungsi sudut (Θ) (Ielman, 2017)

Pada gambar 2.20 didapatkan pada $Re = 3,0 \times 10^4$, nilai Tstatis maksimum didapatkan pada $\Theta = 150^\circ$ yaitu sebesar 2,6 N-cm dan nilai Tstatis minimum didapatkan pada $\Theta = 60^\circ$ yaitu sebesar 0,7 Ncm. Pada $Re = 6,0 \times 10^4$, nilai Tstatis maksimum didapatkan pada $\Theta = 150^\circ$ yaitu sebesar 12,2 N-cm dan nilai Tstatis minimum didapatkan pada $\Theta = 60^\circ$ yaitu sebesar 3,7 N-cm. Sedangkan pada $Re = 9,0 \times 10^4$, nilai Tstatis maksimum didapatkan

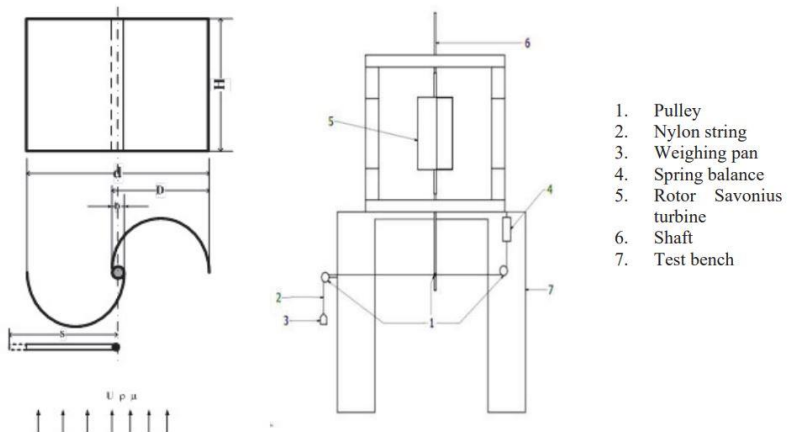
pada $\Theta = 150^\circ$ yaitu sebesar 19,1 N-cm dan nilai T_{stat} minimum didapatkan pada $\Theta = 60^\circ$ yaitu sebesar 4,9 N-cm.

Pada gambar 2.21 menjelaskan tentang efek penambahan performa turbin dari peningkatan nilai CoP yang dihasilkan yang disajikan dalam bentuk grafik CoP/CoP0 dengan variasi besar S/D. Besar CoP/CoP0 yang didapatkan ini adalah hasil bagi antara CoP yang dihasilkan akibat adanya konfigurasi benda pengganggu dengan besar CoP tanpa adanya benda pengganggu atau dalam kondisi standar. Grafik CoP/CoP0 ini digunakan untuk menjelaskan besar peningkatan CoP turbin akibat adanya konfigurasi benda pengganggu. Pada $Re = 3,0 \times 10^4$, nilai CoP/CoP0 maksimum didapatkan pada jarak $S/D = 1,6$ yaitu sebesar 13,92 dan nilai CoP/CoP0 minimum didapatkan pada jarak $S/D = 2,4$ yaitu sebesar 1,22. Pada $Re = 6,0 \times 10^4$, nilai CoP/CoP0 maksimum didapatkan pada jarak $S/D = 1,6$ yaitu sebesar 6,92 dan nilai CoP/CoP0 minimum didapatkan pada jarak $S/D = 2,4$ yaitu sebesar 3,03. Sedangkan pada $Re = 9,0 \times 10^4$, nilai CoP/CoP0 maksimum didapatkan pada jarak $S/D = 1,6$ yaitu sebesar 1,75 dan nilai CoP/CoP0 minimum didapatkan pada jarak $S/D = 2,4$ yaitu sebesar 1,45. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa untuk sebagian besar Re dan S/D yang digunakan menghasilkan nilai $CoP/CoP0 > 1$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan konfigurasi silinder pengganggu efektif untuk meningkatkan besaran CoP yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius.



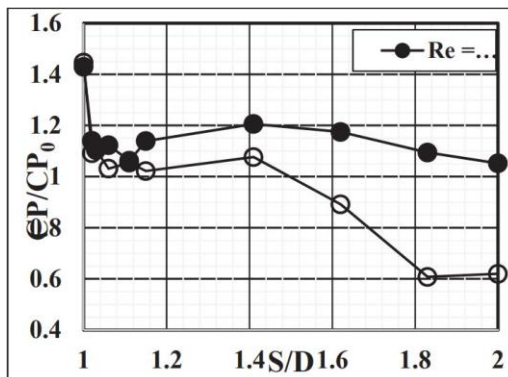
Gambar 2.21 Grafik perbandingan *Coefficient of Power* antara turbin angin Savonius berpengganggu dan tanpa silinder pengganggu (CoP/CoP_0) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$ (Ielman, 2017)

2.7.6 Penelitian Tentang Peningkatan Peforma dari Turbin Savonius dengan Plat Penghalang pada Variasi Panjang Plat dan Bilangan Reynolds.

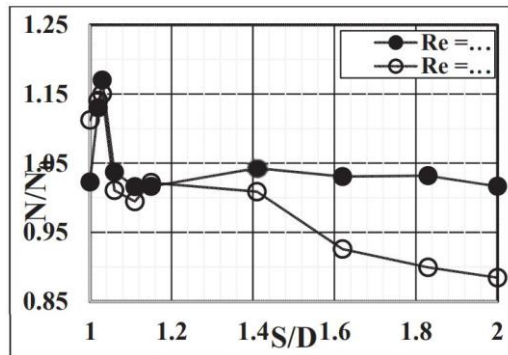


Gambar 2.22 Skema penelitian dengan plat penghalang (Triyogi et al, 2017)

Penelitian tentang Peningkatan Peforma dari Turbin Savonius telah dilakukan oleh **Triyogi et al (2010)**. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan panjang plat penghalang yang diletakan didepan sisi *returning blade* turbin angin Savonius. Terdapat 10 variasi ukuran panjang plat yaitu $S/D = 1,00; 1,02; 1,03; 1,06; 1,11; 1,15; 1,41; 1,62; 1,83$ dan $2,00$. Penelitian dilakukan pada variasi bilangan Reynolds 30.000 dan 90.000 . Dimana penelitian dilakukakn dengan skema seperti pada gambar 2.18 panjang sudu turbin (D) yang digunakan adalah 4 inches atau berkisar 102 mm dengan tinggi (H) = 300 mm dan overlap (b) = 16 mm. Plat penghalang yang digunakan terbuat dari bahan plastik PVC yang memiliki tebal dan panjang 3 mm dan 300 mm. pengukuran torsi dinamis menggunakan *brake dynamometer*.



Gambar 2.23 Grafik Perbandingan putaran (N/N_0) terhadap variasi panjang plat (S/D) untuk $Re = 30.000$ dan 90.000 (**Triyogi et al, 2017**)

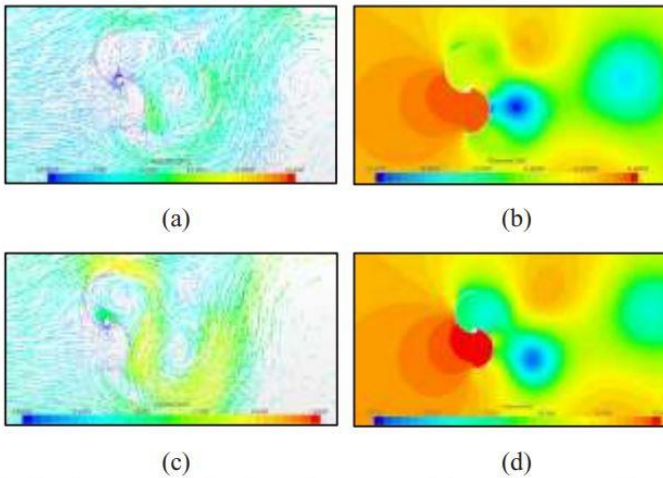


Gambar 2.24 Grafik Perbandingan Coefficient of Power (CoP/CoP_o) terhadap variasi rasio panjang plat penghalang (S/D) untuk $Re = 30.000$ dan 90.000 (Triyogi et al, 2017)

Gambar 2.23 menunjukkan hasil penelitian untuk nilai putaran dengan plat penghalang (N) berbanding dengan tanpa penghalang (N_o) terhadap rasio panjang plat terhadap diameter sudu turbin (S/D) untuk variasi bilangan Reynolds 30.000 dan 90.000 . untuk $Re = 30.000$ dan untuk semua variasi panjang plat penghalang memiliki nilai $N/N_o > 1$, yang berarti pada $Re = 30.000$ peletakan plat penghalang didepan turbin selalu membuat putaran dari poros turbin berputar lebih cepat dibandingkan dengan tanpa penghalang. Pada gambar 2.24 nilai *coefficient of power* dari turbin angin Savonius dengan penghalang (CoP) relatif dibandingkan dengan tanpa penghalang (CoP_o) untuk $Re = 30.000$ selalu efektif meningkatkan nilai *coefficient of power* dilihat dari nilai $CoP/CoP_o > 1$. Sedangkan untuk variasi $Re = 90.000$ tidak terjadi peningkatan nilai putaran maupun *coefficient of power* turbin angin savonius disemua variasi panjang plat. Pada variasi rasio $S/D < 1,41$ peletakan plat penghalang efektif meningkatkan performa turbin angin Savonius namun pada variasi rasio $S/D > 1,41$ peletakan plat penghalang menurunkan nilai putaran dan *coefficient of power* turbin angin Savonius.

Kesimpulan dari penelitian ini didapatkan bahwa panjang plat penghalang dan variasi bilangan Reynolds memegang peranan penting dalam performa turbin angin Savonius. Secara umum peletakan plat penghalang didepan *returning blade efektif* meningkatkan performa turbin. Penelitian ini menunjukan untuk variasi rasio panjangplat $S/D > 1.41$ di $Re = 90.000$ memiliki nilai *coefficient of power* yang lebih kecil dibandingkan dengan tanpa plat penghalang. Dimana pada kondisi ini nilai *coefficient of power* turun hingga 60,7% dibandingkan dengan tanpa penghalang untuk $Re = 90.000$ dan $S/D = 1,82$.

2.7.7 Penelitian tentang studi numerik Peningkatan Peforma dari Turbin Savonius dengan Plat Datar Penghalang

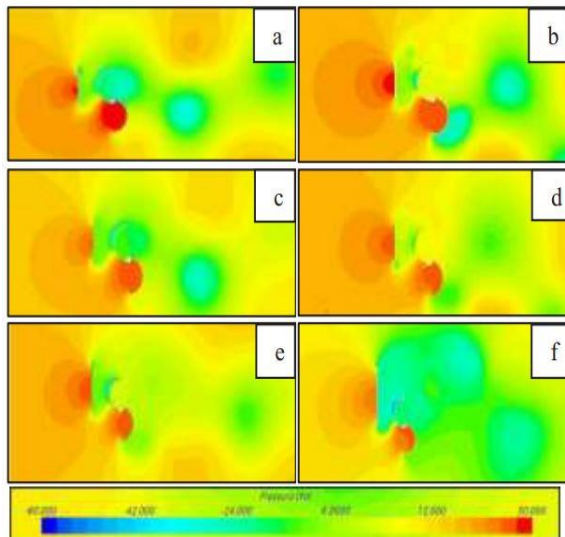


Gambar 2.25 Hasil simulasi vektor kecepatan untuk $Re = 30.000$ (a) dan 90.000 (c). Hasil simulasi kontur tekanan untuk $Re = 30.000$ (b) dan 90.000 (d) (Triyogi et al, 2017)

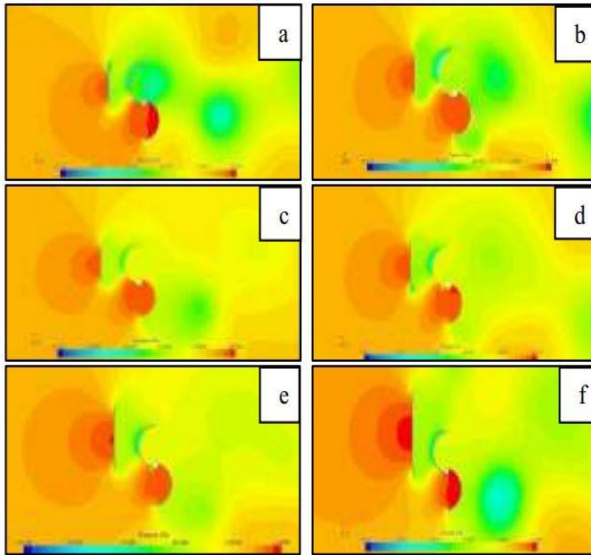
Penelitian dengan memvariasikan rasio panjang plat juga pernah dilakukan oleh Triyogi et al (2017) dengan menggunakan metode numerik. Penelitian ini memvariasikan rasio panjang plat $S/D = 1,00; 1,02; 1,03; 1,06; 1,11; 1,15; 1,41; 1,62; 1,83$ dan $2,00$.

Penelitian dilakukan menggunakan software STAR CCM++ untuk kondisi aliran uniform pada Re sebesar 30.000 dan 90.000 dengan skema penelitian dapat kita lihat pada gambar 2.25 penelitian dilakukan dengan menggunakan k- ϵ realizable sebagai model turbulen untuk memvisualisasikan fenomena aliran yang terjadi disekitar turbin. Untuk $Re = 30.000$ kecepatan aliran udara pada inlet adalah $U = 2,48$ m/s sedangkan untuk $Re = 90.000$ kecepatan aliran udaranya adalah $U = 7,45$ m/s.

Gambar 2.25 menunjukkan hasil simulasi aliran disekitar turbin angin Savonius tanpa plat penghalang untuk $Re = 30.000$ dan 90.000. Secara umum dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan tekanan didepan returning blade dan dibelakang. Hal serupa terjadi juga untuk advancing blade. Dapat terlihat cukup jelas pressure drag yang bekerja di sudu advancing lebih tinggi dibandingkan dengan yang bekerja pada sudu returning. Hal ini menghasilkan torsi positif yang menyebabkan poros turbin berputar.



Gambar 2.26 Hasil simulasi kontur tekanan untuk $Re = 30.000$
 (a) $S/D = 1,00$, (b) $S/D = 1,02$, (c) $S/D = 1,03$, (d) $S/D = 1,15$, (e).
 1.41 and (f) $S/D = 2,00$ (Triyogi et al,2017)



Gambar 2.27 Hasil simulasi kontur tekanan untuk $Re = 90.000$
 (a) $S/D = 1,00$, (b) $S/D = 1.02$, (c) $S/D = 1.03$, (d) $S/D = 1.15$, (e).
 1.41 and (f) $S/D = 2.00$ (Triyogi et al,2017)

Gambar 2.26 menunjukkan hasil simulasi aliran disekitar turbin Savonius dengan variasi plat penghalang untuk $Re = 30.000$. seperti yang dapat dilihat pada gambar dengan peletakan silinder penghalang didepan returning blade turbin angin Savonius, tekanan didepan returning blade menurun sedangkan tekanan didepan advancing blade relatif tidak berubah dibandingkan dengan tanpa penghalang. Hal ini menyebabkan pressure drag yang bekerja pada returning blade menurun dan sebagai akibatnya torsi statis positif meningkat. Sehingga peletakan plat penghalang didepan returning blade dapat meningkatkan performa turbin angin Savonius untuk kondisi ini. Sedangkan pada gambar 2.27 dapat kita lihat hasil penelitian untuk $Re = 90.000$ pada variasi rasio panjang plat S/D . Terlihat bahwa pada $S/D = 2$ plat penghalang yang diletakan didepan returning blade diduga mengurangi performa urbin. Hal ini diakibatkan area dengan tekanan yang lebih

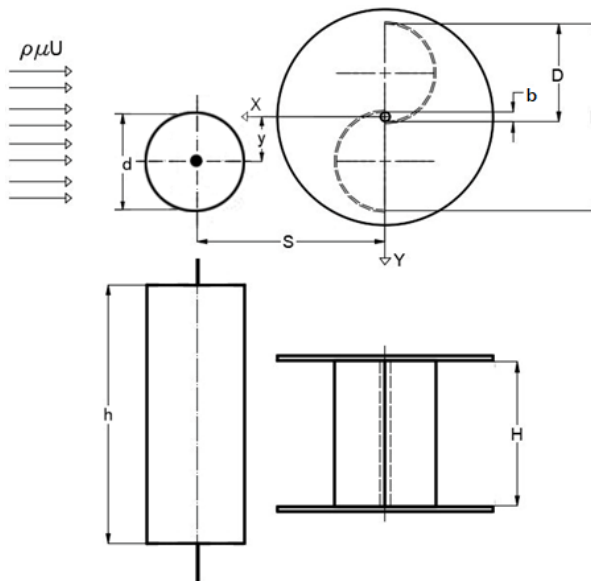
rendah didepan returning blade lebih besar dibandingkan dengan $S/D < 2$. Sehingga aliran cenderung melewati area ini dibandingkan mendorong advancing blade untuk menghasilkan torsi positif. Sehingga terjadi penurunan performa dari turbin angin Savonius untuk kondisi ini.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Parameter Pengukuran

Pada penelitian ini diperlukan beberapa parameter yang harus diukur untuk mengetahui apakah parameter tersebut berpengaruh terhadap hasil dari penelitian ini. Pada gambar 3.1 dibawah adalah skema dari penelitian dan parameter parameter yang akan dianalisa yang mempengaruhi karakteristik dari aliran fluida adalah densitas fluida (ρ), kecepatan fluida (U), viskositas fluida (μ), diameter turbin (D), tinggi turbin (H), diameter silinder pengganggu (d), Panjang silinder pengganggu (t), diameter *overlap* (b), penempatan silinder pengganggu dengan sumbu y (y/D)



Gambar 3.1 Skema Penelitian

dimana,

1. ρ : densitas udara (kg/m^3)

2. μ : viskositas udara (N.s/m²)
3. U : kecepatan udara (m/s)
4. d : diameter silinder pengganggu (m)
5. D : diameter turbin (m)
6. H : tinggi turbin Savonius (m)
7. S : jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat returning blade(m)
8. y : jarak silinder pengganggu yang tegak lurus dengan arah aliran angin
9. b : diameter poros turbin (m)
10. L : panjang karakteristik (m)

3.2 Analisa Dimensi

Pada penelitian ini analisa dimensi untuk mengetahui variabel apa saja yang mempengaruhi karakteristik aliran yang melewati turbin angin Savonius dengan pengganggu berupa silinder sirkular dengan diameter tertentu dengan parameter parameter yang mempengaruhinya. Beberapa parameter nya yaitu densitas fluida (ρ), kecepatan, fluida (U), viskositas fluida (μ), diameter turbin (D), tinggi turbin (H), diameter silinder pengganggu (d), Panjang silinder pengganggu (t), diameter *overlap* (b), jarak silinder pengganggu dengan sumbu X (y/D). Metode Analisa yang digunakan adalah dengan Teorema Phi Buckingham.

3.2.1 Analisa Dimensi untuk *Coefficient of Power*

Berikut langkah langkah dari analisa dimensi adalah:
Menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi *power*

$$P = f (\rho, \mu, V, D, d, S, y, H, t, b, n)$$

Jumlah parameter (n) =12 parameter

Parameter-parameter tersebut adalah:

P = Power (J/s)

- ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)
 μ = Viskositas udara (Ns/m^2)
 V = Kecepatan aliran (m/s)
 D = Diameter sudu turbin angin *Savonius* (m)
 d = Diameter silinder pengganggu (m)
 S = Jarak antara pusat silinder pengganggu dengan pusat *returning blade* (m)
 y = jarak silinder penghalang dengan sumbu X
 H = Tinggi turbin angin *Savonius* (m)
 t = panjang silinder pengganggu (m)
 b = Diameter *porors turbin* (m)
 n = Putaran sudu turbin angin *Savonius* (rpm)

1. Menentukan satu grup dimensi primer yang digunakan dalam menganalisis. Dipilih M, L, t.
2. Membuat dimensi primer dari parameter-parameter yang dipilih.

Tabel 3.1 Dimensi Primer Tiap Parameter CoP

Parameter	P	ρ	μ	V	D	d	S	y	H	t	b	n
Dimensi	$\frac{M L^2}{t^3}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{L t}$	$\frac{L}{t}$	L	L	L	L	L	L	L	$\frac{1}{t}$

3. Memilih parameter berulang yang jumlahnya (m) sama dengan jumlah dimensi primer (r) yang digunakan yaitu : ρ , U, D.
 4. Jumlah parameter berulang (m) = r = 3. Menentukan grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan. Jumlah grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan = $n - m = 12 - 3 = 9$ grup tanpa dimensi.
- i. $\pi_1 = \rho^a V^b D^c P = \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{L}{t}\right)^b (L)^c \left(\frac{M L^2}{t^3}\right) = (M^0 L^0 t^0)$
 dimana :
 $M : a + 1 = 0$
 $L : -3a + b + c + 2 = 0$

$$t : -b - 3 = 0$$

diperoleh :

$$a = -1 ; b = -3 ; c = -2$$

sehingga :

$$\pi_1 = \rho^{-1} V^{-3} D^{-2} P$$

Atau

$$\pi_1 = \frac{P}{\rho V^3 D^2}$$

ii. Dengan cara yang sama diperoleh:

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho V D}$$

$$\pi_3 = \frac{d}{D}$$

$$\pi_4 = \frac{S}{D}$$

$$\pi_5 = \frac{y}{D}$$

$$\pi_6 = \frac{H}{D}$$

$$\pi_7 = \frac{t}{D}$$

$$\pi_8 = \frac{b}{D}$$

$$\pi_9 = \frac{n D}{V}$$

Dari analisis dimensi diatas diperoleh grup tak berdimensi sebagai berikut :

$$\pi_1 = \text{Coefficient of Power}$$

$$\pi_2 = \text{bilangan Reynolds}$$

$$\pi_3 = \text{ratio diameter silinder pengganggu dengan diameter turbin angin Savonius}$$

$$\pi_4 = \text{ratio jarak antara pusat } \textit{returning blade} \text{ dengan silinder pengganggu}$$

$$\pi_5 = \text{ratio jarak antara silinder pengganggu dengan sumbu X}$$

$$\pi_6 = \text{ratio tinggi turbin angin Savonius dengan diameter turbin angin Savonius}$$

$$\pi_7 = \text{ratio panjang silinder pengganggu dengan diameter turbin angin Savonius}$$

π_8 = ratio diameter *overlap* dengan diameter turbin angin *Savonius*

π_9 = *Tip Speed Ratio*

Hubungan antara grup tak berdimensi sebagai berikut:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9)$$

$$\frac{P}{\rho V^3 D^2} = f_1\left(\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{d}{D}, \frac{S}{D}, \frac{y}{D}, \frac{H}{D}, \frac{t}{D}, \frac{b}{D}, \frac{n D}{V}\right)$$

Pada penelitian ini $\frac{d}{D}, \frac{S}{D}, \frac{H}{D}, \frac{t}{D}, \frac{b}{D}$ sebagai variabel tetap, sedangkan $\frac{y}{D}, \frac{\mu}{\rho V D}, \frac{n D}{V}$ divariasikan agar dapat mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap *Coefficient of Power* pada turbin angin sehingga :

$$\frac{P}{\rho V^3 D^2} = f_2\left(\frac{y}{D}, \frac{\mu}{\rho V D}, \frac{n D}{V}\right)$$

Dalam hal ini D sebanding dengan L, untuk $L = 2D - b$, maka

$$\frac{P}{\rho V^3 D^2} = f_3\left(\frac{y}{D}, \frac{\mu}{\rho V L}, \frac{n D}{V}\right)$$

atau

$$C_{op} = f_4\left(\frac{y}{D}, \text{Re}, \text{TSR}\right)$$

3.2.2 Analisa Dimensi *Coefficient of Moment*

Berikut langkah langkah analisa dimensi sebagai berikut:

1. Menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi torsi dinamis

$$\tau = f(\rho, \mu, U, D, H, b, d, S, y, \omega)$$

Jumlah parameter (n) = 10 parameter

Parameter-parameter tersebut adalah:

τ : torsi dinamis, N.m

ρ : massa jenis udara, kg/m³

μ : viskositas absolut udara, N.s/m²

U : kecepatan aliran udara, m/s

D : diameter turbin Savonius, m

H : tinggi turbin Savonius, m

- b : diameter *shaft*, m
 d : diameter silinder penghalang, m
 S : proyeksi lebar plat pada turbin Savonius, m
 y : posisi silinder penghalang, m
 ω : putaran turbin, rad/s
- Menentukan satu grup dimensi primer yang digunakan dalam analisa. Dalam penelitian ini dipilih M, L, t
 - Membuat dimensi primer dari masing-masing parameter yang dipilih, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Dimensi Primer Tiap Parameter Cm

Parameter	τ	ρ	μ	U	D	H	e	d	S	y	ω
Dimensi	$\frac{ML^2}{t^2}$	$\frac{M}{L^3}$	$\frac{M}{L t}$	$\frac{L}{t}$	L	L	L	L	L	L	$\frac{1}{t}$

- Menentukan parameter berulang (m) yang jumlahnya sama dengan jumlah dimensi primer (r) yang digunakan yaitu: ρ , U, D
 Jumlah parameter berulang (m) = r = 3.
- Menentukan grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan.
 Jumlah grup tanpa dimensi yang akan dihasilkan = n-m = 10-3 = 7 grup tanpa dimensi.

$$\pi_1 = \rho^a U^b D^c \tau$$

$$\pi_1 = \left(\frac{M}{L^3}\right)^a \left(\frac{L}{t}\right)^b (L)^c \left(\frac{ML^2}{t^2}\right) = (M^0 L^0 t^0)$$

Dimana nilai a,b,c didapatkan dengan cara:

$$M : a + 1 = 0$$

$$L : -3a + b + c + 2 = 0$$

$$t : -b - 3 = 0$$

maka didapatkan nilai,

$$a = -1 ; b = -2 ; c = -3$$

sehingga didapatkan grup tak berdimensi satu (π_1) sebagai berikut:

$$\pi_1 = \rho^{-1} U^{-2} D^{-3} \tau = \frac{\tau}{\rho U^2 D^3}$$

Cara yang sama dilakukan untuk mendapatkan grup tanpa dimensi yang lain, dan diperoleh:

$$\pi_1 = \frac{\tau}{\rho U^2 D^3}$$

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho U D}$$

$$\pi_3 = \frac{d}{S}$$

$$\pi_4 = \frac{D}{D}$$

$$\pi_5 = \frac{y}{D}$$

$$\pi_6 = \frac{H}{D}$$

$$\pi_7 = \frac{\omega D}{U}$$

Dari analisa dimensi di atas diperoleh grup tidak berdimensi sebagai berikut:

π_1 : *Coefficient of Moment*

π_2 : bilangan Reynolds

π_3 : rasio diameter silinder penghalang dengan diameter turbin Savonius

π_4 : rasio lebar proyeksi silinder penghalang pada *returning blade* dengan diameter turbin Savonius

π_5 : rasio posisi silinder penghalang dengan diameter sudu turbin Savonius

π_6 : ratio tinggi turbin angin *Savonius* dengan diameter turbin angin *Savonius*

π_7 : *tip speed ratio*

Hubungan antara grup tak berdimensi adalah:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7)$$

$$\frac{\tau}{\rho U^2 D^3} = f_1 \left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{d}{D}, \frac{S}{D}, \frac{y}{D}, \frac{H}{D}, \frac{\omega D}{U} \right)$$

Pada penelitian ini, $\frac{d}{D}$, $\frac{S}{D}$ dan $\frac{H}{D}$ merupakan variabel tetap. Sedangkan $\frac{\mu}{\rho U D}$, $\frac{y}{D}$ dan $\frac{\omega D}{U}$ merupakan variabel yang divariasikan untuk diketahui pengaruhnya terhadap hasil *coefficient of moment* turbin angin Savonius, sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\tau}{\rho U^2 D^3} = f_2 \left(\frac{\mu}{\rho U D}, \frac{y}{D}, \frac{\omega D}{U} \right)$$

atau

$$Cm = f_3 \left(Re, \frac{y}{D}, TSR \right)$$

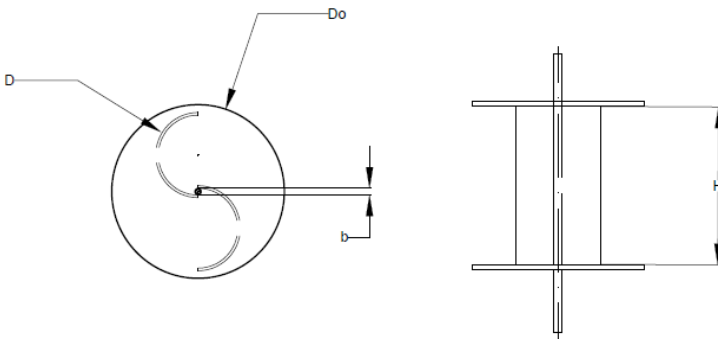
3.3 Peralatan Eksperimen

Penelitian ini diperlukan beberapa peralatan penunjang untuk mempermudah pengambilan data eksperimen untuk mendapatkan hasil yang baik dalam penelitian ini.

3.3.1 Benda Uji

Pada penelitian ini benda kerja yang digunakan adalah turbin angin tipe Savonius dengan pengganggu berupa silinder. Profil turbin angin tipe savonius dapat dilihat pada gambar 3.2. Dengan spesifikasi dimensi sebagai berikut:

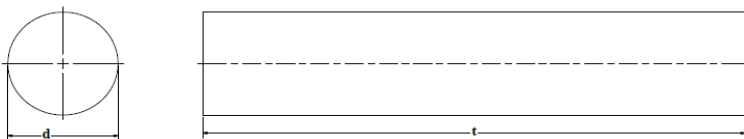
- Diameter sudu turbin (D) : 165,2mm
- Diameter turbin (2D-b) : 303,4
- Tinggi (H) : 294,4 mm
- Diameter poros (b) : 19 mm
- Tebal turbin (e) : 4 mm



Gambar 3.2 Turbin angin Savonius

Profil silinder pengganggu didepan *returning blade* sebagai berikut :

- Diameter penghalang (D) : 165,2 mm
- Panjang penghalang (t) : 500 mm
- Perbandingan (d/D) : 1,0
- Jarak (S/D) : 1,8
- Penempatan silinder (y/D) : 0; 0,25; 0,5



Gambar 3.3 Silinder Pengganggu didepan *returning blade*

3.3.2 Axial Fan

Pada penelitian ini untuk menghasilkan kecepatan angin yang di inginkan dalam penelitian peningkatan performa turbin angin Savonius menggunakan bantuan *axial fan*. *Axial fan* yang

digunakan adalah blower dengan tipe axial fan CKE SPV-18 dengan spesifikasi pada table dibawah ini:

Tabel 3.3 Spesifikasi *Blower Axial Fan CKE SPV-18*

SPECIFICATIONS	
Diameter	18 inch / 450 mm
Speed	2850 RPM
Air Flow	4413 CFM
Power	1700 Watt
ST Press	520 Pa
Phase	1
Voltage	220 – 240 V



Gambar 3.4 Axial Fan CKE SPV-18

3.3.3 Alat ukur

Untuk mengukur variabel yang akan digunakan dalam perhitungan, digunakan beberapa alat ukur sebagai berikut:

a. Anemometer

Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Anemometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah anemometer digital seri **OMEGA HHF-141A**. Pengukuran kecepatan angin dapat dilakukan menggunakan dua satuan pengukuran, yaitu m/s dan ft/min. Spesifikasi dari anemometer digital OMEGA HHF-141A dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.4 Spesifikasi Anemometer Digital Omega HHF-141A

Omega HHF-141A	
Probe Diameter	1 inch
Measurement Range	60 – 6800 ft/min 1.5– 35.00 m/s
Resolution	1 ft/min 0.01 m/s
Accuracy	$\pm(0.5\% \text{ FS} + 0.75\% \text{ reading} + 1 \text{ digit})$
Operating Temperature	Instrument: 0°C-15°C Probe: -20°C-100°C
Display	0.5 inch LCD with LED backlight, 4 Digits



Gambar 3.5 Anemometer Digital Omega HHF-141A

b. Tachometer

Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putar suatu benda. Tachometer yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tachometer digital jenis *Economical Non-Contact Pocket Optical Tachometer* (ENCPOP) seri **OMEGA HHT12** dengan akurasi pembacaan 0.01% atau ± 1 digit dengan range pengukuran antara 5 hingga 99.999 rpm. Spesifikasi dari tachometer digital OMEGA HHT12 dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.5 Spesifikasi Tachometer Digital OMEGA HHT- 12

OMEGA HHT-12	
Range	5 to 99.999 rpm
Accuracy	0.01 % of reading or ± 1 digit
Resolution	0.001 to 1.0 rpm
Display	5-digit alphanumeric LCD
Memory	Max, min and last
Power	2 "AA" 1.5 V dc batteries
Environmental	5 to 40° C



Gambar 3.6 Tachometer OMEGA HHT-12

c. Torque meter

Torsimeter digunakan untuk mengukur torsi statis dari suatu poros. Torsimeter yang digunakan dalam penelitian ini ialah seri **LUTRON TQ-8800** dengan *high resolution* 0,1 Newton-cm. Spesifikasi dari torsimeter

LUTRON TQ-8800 dapat dilihat pada Tabel 3.4 dibawah ini:

Tabel 3.6 Spesifikasi Torsimeter Lutron TQ - 8800

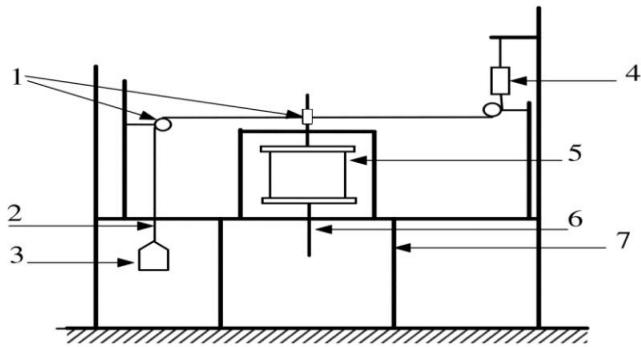
Display Unit/ Resolution			
Unit	Max. range	High resolution	Over load protection range
kg-cm	15 kg-cm	0,01 kg-cm	22,5 kgf-cm max
Lb-inch	12,99 Lb-inch	0,01 Lb-inch	19,53 Lbf-inch max
N-cm	147,1 N-cm	0,1 N-cm	220,1 N-cm max



Gambar 3.7 Torsi meter Lutron TQ-8800

d. Brake Dynamometer

Brake dynamometer merupakan alat ukur manual yang berfungsi untuk mengukur torsi yang dihasilkan oleh turbin dinamis yang dihasilkan oleh putaran suatu objek. Brake dynamometer yang digunakan didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh (*Mahmoud et al* ,2010).



Gambar 3.8 Skema *brake dynamometer*

Keterangan:

1. Sistem *pulley*
2. Benang Nilon
3. Massa pemberat
4. Pegas
5. Turbin angin Savonius
6. Poros turbin angin Savonius
7. Struktur Penyanggah turbin angin Savonius

- Pegas

Pegas yang digunakan adalah pegas dengan merek Nagata tipe 10 kg. Spesifikasi dari pegas adalah sebagai berikut :

- Kapasitas maksimum : 10 Kg
- Ketelitian : 50 gram



Gambar 3.9 Pegas Nagata seri 10 kg

- Benang Nilon

Benang yang digunakan sebagai *brake* adalah benang nylon Optimim Lazer, berikut spesifikasi dari benang nylon :

- Beban maksimum : 20 kg
- Diameter : 0,60 mm
- Panjang : 190 m



Gambar 3.10 Benang Nylon Optimum Lazer

- Massa pemberat

Massa pemberat yang digunakan sebagai *brake dynamometer* dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Beban maksimum : 200 gram
- Beban minimum : 1 gram
- Material : kuningan dan kawat

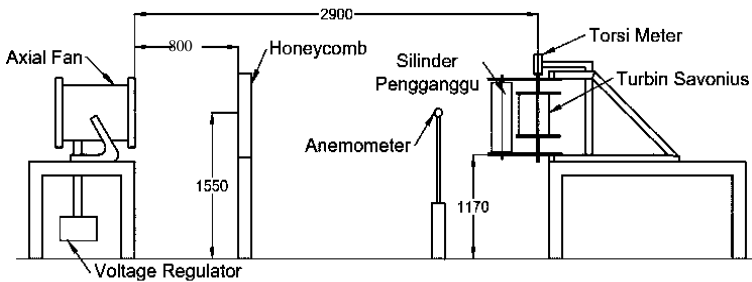


Gambar 3.11 Massa Pemberat

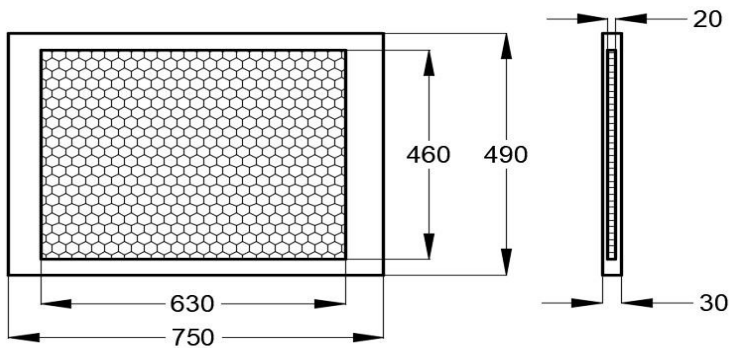
Pengukuran torsi dinamis yang dilakukan adalah sesuai dengan skema yang terdiri dari sistem pulley, massa pemberat dan pegas yang dihubungkan oleh benang nilon yang menyelubungi dari poros turbin angin Savonius. Besarnya daya yang terukur sesuai dengan persamaan perhitungan Coefficient of power, dimana torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius dapat diukur oleh brake dynamometer. Torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius diukur ketika turbin berputar. Massa pemberat ditambahkan dengan berbagai variasi hingga turbin berhenti berputar.

3.4 Honeycomb

Pada penelitian ini, honeycomb digunakan untuk mengondisikan aliran angin menuju turbin angin Savonius menjadi uniform dan mencegah terjadinya swirl. Honeycomb diletakkan di antara Axial Fan dengan turbin angin Savonius seperti pada gambar 3.9. Honeycomb yang digunakan berbentuk persegi dengan sket seperti gambar 3.3 dan mempunyai dimensi sebagai berikut



Gambar 3.12 Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.13 Honeycomb yang digunakan pada penelitian

- Panjang sisi frame : 750 mm
- Panjang sisi honeycomb : 460 mm
- Tebal frame : 30 mm
- Tebal honeycomb : 20 mm
- Meshing size : 16 lubang/in²

3.5 *Voltage Regulator dan Multimeter*

Pengatur tegangan berfungsi menyediakan suatu tegangan keluaran dc tetap yang tidak dipengaruhi oleh perubahan tegangan masukan, arus beban keluaran, dan suhu. Pada penelitian ini,

voltage regulator digunakan sebagai alat untuk mengatur tegangan untuk mendapatkan kecepatan sesuai TSR yang diinginkan. Untuk itu digunakan voltage regulator model **TDGC 2J-3** dengan spesifikasi seperti yang tertera pada tabel 3.6. *Multimeter* digunakan untuk mengukur besarnya voltase yang digunakan untuk menggerakkan *axial fan*. Hal ini bertujuan untuk menjaga aliran daya listrik yang dialirkan ke *axial fan* agar terjaga konstan. Multimeter yang digunakan adalah **SANWA PC7000 Digital Multimeter**.

Tabel 3.7 Spesifikasi voltage regulator

<i>SPECIFICATIONS</i>	
<i>Model</i>	TDGC 2J-3
<i>Input</i>	110/220 V
<i>Output</i>	0 – 250 V
<i>Frequency</i>	50 – 60 Hz
<i>I Max</i>	4,8/12 A
<i>Cap.</i>	3 KVA



Gambar 3.14 Voltage regulator model **TDGC 2J-3** dan Multimeter digital Sanwa PC 7000

3.6 *Bearing*

Bearing yang digunakan adalah tipe IBC GERMANY 6201THBP630955P dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Diameter luar : 32.25 mm
- Diameter dalam : 12 mm
- Tebal : 10 mm



Gambar 3.15 Bearing IBC GERMANY 6201THBP630955P

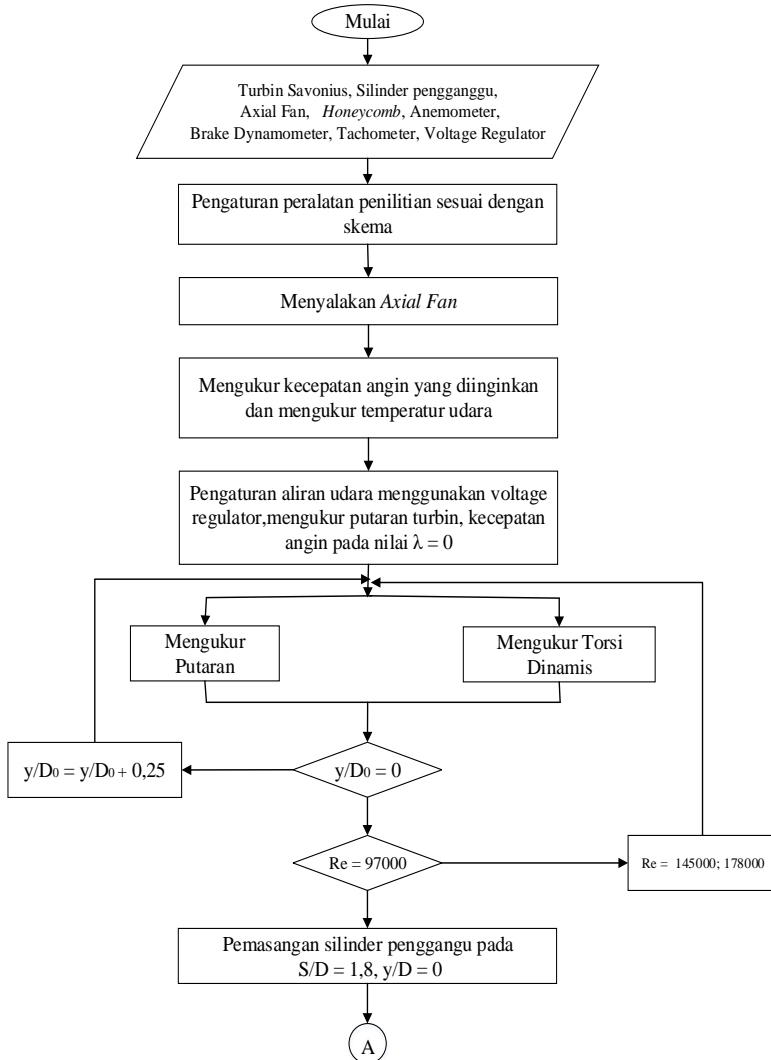
3.7 **Prosedur Penelitian**

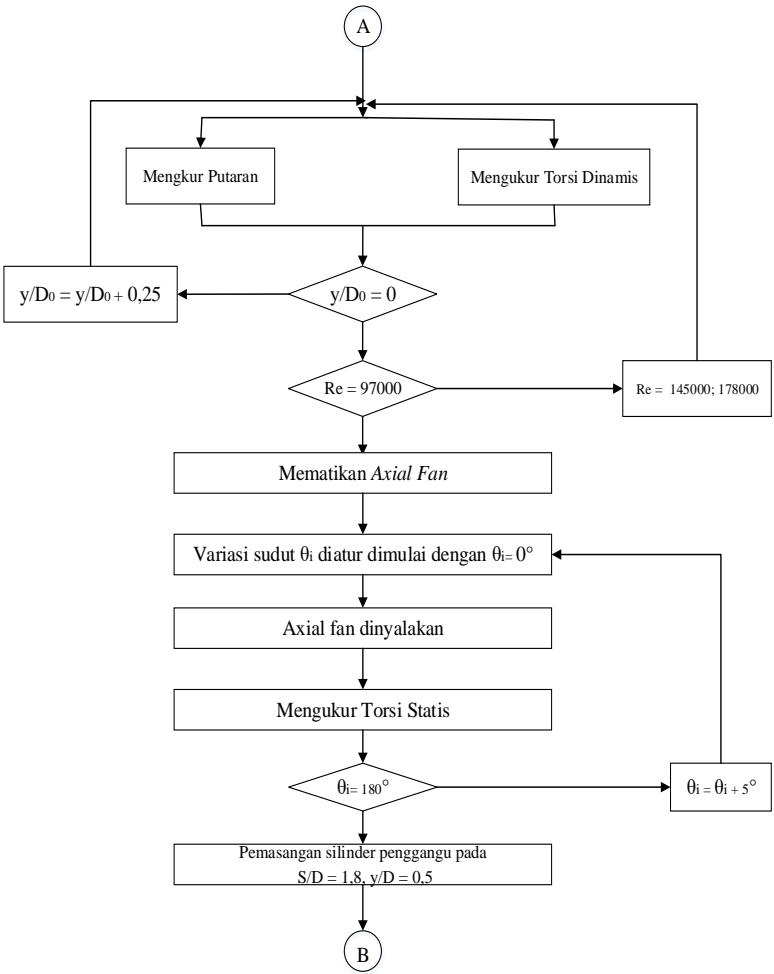
Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

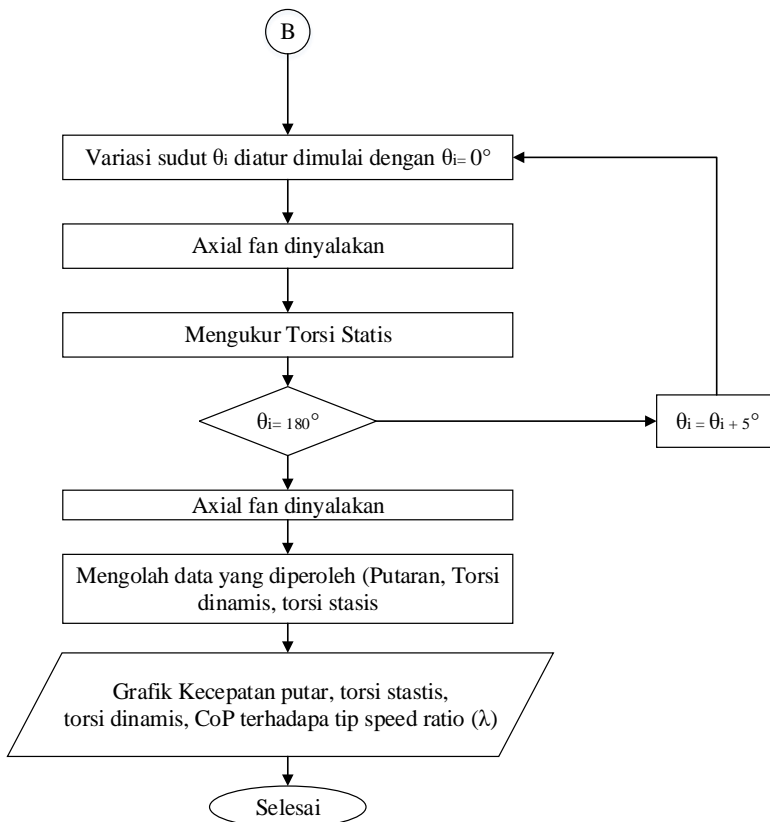
1. Persiapan peralatan dan benda uji berupa turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu .
2. Pemasangan turbin angin Savonius sesuai dengan skema penelitian.
3. Menyalakan *axial fan* dan mengatur besar frekuensi dengan menggunakan *inverter* supaya didapat kecepatan yang sesuai dengan *tip speed ratio* yang diinginkan
4. Melakukan pengukuran kecepatan angin dengan menggunakan Anemometer sehingga diperoleh bilangan *tip speed ratio* seperti yang diinginkan dan mengukur temperature udara.
5. Melakukan pengukuran tegangan dan kuat arus listrik dengan menggunakan multimeter.

6. Melakukan pengukuran putaran poros turbin angin dengan menggunakan Tachometer.
7. Melakukan pengukuran torsi dinamis dengan menggunakan *brake dynamometer*
8. Mematikan *axial fan*.
9. Memasang silinder pengganggu di depan *returning blade* dengan jarak antara ujung sudu *returning blade* turbin angin dan silinder pengganggu (S/D) adalah 1,8.
10. Melakukan pengukuran dengan merubah y/D sebesar 0; 0,25; 0,5
11. Mengulangi langkah 4 sampai 12 dengan variasi bilangan Reynolds 97000; 145000 dan ; 178000
12. Mematikan *axial fan*.
13. Pemasangan Torque meter untuk mengukur torsi statis
14. Menyalakan Axial fan
15. Melakukan pengukuran torsi statis pada turbin tanpa silinder pengganggu dengan menggunakan Torque meter
16. Melakukan pengukuran torsi statis pada turbin dengan silinder pengganggu dengan menggunakan Torque meter
17. Mengolah semua data yang diperoleh (putaran, torsi, tegangan dan arus listrik) dan menge-plot dalam grafik torsi terhadap variasi S/D, putaran terhadap variasi S/D, dan *Coefficient of Power (CoP)* terhadap variasi S/D.
18. Membandingkan hasil data yang diperoleh antara turbin angin Savonius berpengganggu dengan turbin angin Savonius tanpa pengganggu.

3.8 Flowchart Penelitian







3.9 Perencanaan Penelitian

Perencanaan penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

No	Kegiatan	Nop '17	Des '17	Jan '18	Feb '18	Mar '18	April '18	Mei '18	Jun '18
1.	Pembuatan alat								
2.	Penulisan Proposal								

3.	Ujian Proposal								
4.	Setting Alat								
5.	Pengukuran								
6.	Analisa dan Penulisan Ta								
7.	Ujian Ta								

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan eksperimen pengaruh silinder pengganggu didepan *returning blade* terhadap turbin angin Savonius. Data yang didapatkan adalah adanya pengaruh pemberian silinder pengganggu didepan *returning blade* terhadap turbin angin Savonius. Data yang dianalisa terdiri dari nilai putaran, torsi statis, *coefficient of power* dan *coefficient of moment* yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan menggunakan silinder pengganggu.

4.1 Data Penelitian

4.1.1 Perhitungan Nilai Reynolds Number

- **Massa Jenis Udara (ρ)**

Dengan menggunakan persamaan Boyle – Gay lussac tentang pemuain gas, massa jenis udara dapat di tentukan sebagai berikut:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (4.1)$$

Karena $V = \frac{m}{\rho}$, maka persamaan 4.1 berubah menjadi:

$$\frac{P_1 m_2}{T_1 \rho_1} = \frac{P_2 m_2}{T_2 \rho_2} \quad (4.2)$$

dimana:

P_1 = tekanan absolut udara pada keadaan 1 (acuan)
= $1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

T_1 = temperatur udara pada keadaan 1 (acuan)
= $288,2 \text{ K}$

ρ_1 = massa jenis udara pada keadaan 1 (acuan)
= $1,225 \text{ kg/m}^3$

m_1 = massa udara pada keadaan 1 (acuan)

P_2 = tekanan absolut udara pada keadaan 2
(penelitian)

T_2 = temperatur udara pada keadaan 2 (penelitian)
 $= 27^\circ\text{C} = 300\text{K}$

ρ_2 = massa jenis udara pada keadaan 2 (penelitian)

m_2 = massa udara pada keadaan 2 (penelitian)

Keadaan 1 dan 2 berada pada ketinggian yang sama sehingga $P_1 = P_2$ dan karena massa udara pada keadaan 1 dan 2 maka $m_1 = m_2$. Dari batasan tersebut, maka persamaan 4.2 menjadi :

$$\rho_2 = \frac{T_1 \rho_1}{T_2} \quad (4.3)$$

$$\rho_2 = \frac{288,2 \text{ K} \times 1,225 \text{ kg/m}^3}{301,2 \text{ K}} = 1,1721 \text{ kg/m}^3$$

- **Viskositas Absolut Udara (μ)**

Untuk perhitungan viskositas udara digunakan persamaan Sutherland, yaitu:

$$\mu = \frac{b T^{3/2}}{S+T} \quad (4.4)$$

dimana ,

untuk udara :

$$b = 1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m.s.K}^{1/2}}$$

$$S = 110,4 \text{ K}$$

$$T = \text{temperatur saat penelitian} = 301,2 \text{ K}$$

Dari nilai-nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 4.4, sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1,458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m.s.K}^{1/2}} \cdot (300 \text{ K})^{3/2}}{(110,4 + 300) \text{ K}} \\ &= 1,850 \times 10^{-5} \text{ kg/ms} \end{aligned}$$

- **Kecepatan Freestream Udara (U_{∞})**

Berdasarkan persamaan bilangan Reynolds, maka kecepatan pada bilangan Reynolds 97000 adalah sebagai berikut:

$$U = \frac{Re \times \mu}{\rho \times L} \quad (4.5)$$

dimana:

Re = bilangan Reynolds

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

μ = Viskositas absolut udara (kg/ms)

L = Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini adalah diameter turbin
 $= 2D - b - 2e = (2 \times 165,2\text{mm}) - 19\text{ mm} - 2 \times 4\text{mm} = 303,4\text{ mm} = 0,3034\text{ m}$

Dari nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan 4.5, sehingga didapatkan :

$$U = \frac{(97000) \times (1,850 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{ms}})}{1,1721 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,3034\text{ m}} = 5\text{ m/s}$$

4.1.2 Perhitungan Nilai Tip Speed Ratio (TSR)

Persamaan untuk mendapatkan TSR pada bilangan Reynolds 97000 adalah sebagai berikut:

$$TSR = \frac{\omega \cdot R}{U} \quad (4.6)$$

dimana:

$\omega = \frac{2\pi n}{60}$; n = rpm pada bilangan Reynolds 97000

$$\omega = \frac{2\pi (230.75)}{60} = 24,15\text{ rad/s}$$

R = jari-jari sudu turbin angin

$$R = \frac{I}{2} = \frac{(2D - b - 2e)}{2}$$

$$R = \frac{(2 \times 165,2\text{mm}) - 19\text{ mm} - 2 \times 4\text{mm}}{2} \\ = 151,7\text{ mm} = 0,1517\text{ m}$$

U = kecepatan pada bilangan Reynolds 97000 yaitu 5,03 m/s

Sehingga didapatkan nilai TSR:

$$TSR = \frac{24,15 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 0,1517\text{ m}}{5,03 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,703$$

4.1.3 Perhitungan Nilai *Coefficient of Power* (CoP)

Persamaan untuk mendapatkan nilai CoP pada bilangan Reynolds 97000 adalah sebagai berikut:

$$CoP = \frac{\{(massa\ beban - massa\ pegas)g\} \times r \times \omega}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot U^3} \quad (4.7)$$

dimana:

A = luas karakteristik pada turbin yang ditabrak oleh angin

$$A = L \cdot H = 0,3034\text{ m} \times 0,2944\text{ m} = 0,08932\text{ m}^2$$

CoP = *Coefficient of Power* (%)

U = Kecepatan aliran fluida (kg/m³)

r = Jari-jari silinder yang menerima beban = 0,0093

m

ω = Kecepatan radial turbin angin

Sehingga didapatkan nilai CoP:

$$CoP = \frac{\left\{ \frac{290 - 20}{1000} \right\} kg \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,0093\text{m} \cdot 24,15 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{\frac{1}{2} \cdot 1,1721 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,08932\text{ m}^2 \cdot (7,42 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3} \\ = 0,09126 = 9,126\%$$

4.1.4 Perhitungan Nilai *Coefficient of Moment* (Cm)

Persamaan untuk mendapatkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada bilangan Reynolds $9,3 \times 10^4$ adalah sebagai berikut:

$$CoP = \frac{Td}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^2 \cdot \frac{L}{2}}$$

Dimana,

Cm = *Coefficient of Moment*

$$\begin{aligned} CoP &= \frac{0,0245 \text{ Nm}}{\frac{1}{2} \cdot 1,1772 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,08932 \text{ m}^2 \cdot (5,01 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot \frac{0,2918 \text{ m}}{2}} \\ &= 0,12966 \end{aligned}$$

4.2 Analisa Performa Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Pada eksperimen turbin angin Savonius, dilakukan analisa performa turbin angin Savonius tanpa menggunakan silinder pengganggu untuk mengetahui kondisi awal dari performa turbin angin Savonius. Data ini dijadikan sebagai data acuan untuk membandingkan pengaruh diberikan silinder pengganggu didepan sudu *returning blade* turbin angin Savonius. Analisa performa turbin angin Savonius dilakukan dengan meninjau nilai dari putran turbin (n_o), Torsi Statis (T_{so}), *Coefficient of Performance* (CoP_o) dan *Coefficient of Moment* yang dilakukan pada tiga variasi kecepatan.

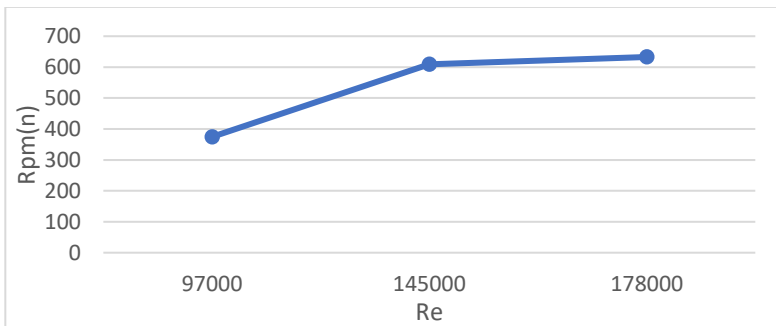
4.2.1 Analisa Putaran Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Pada gambar 4.1 menunjukan nilai putaran per satuan waktu (n_o) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap bilangan Reynolds. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000 , 7,5

m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Grafik putaran per satuan waktu (n_o) terhadap bilangan Reynolds menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai putaran (n_o) ketika bilangan Reynolds ikut meningkat. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang mengenai turbin meningkat, maka kecepatan putar dari turbin savonius meningkat. Nilai putaran per satuan waktu (n_o) pada bilangan Reynolds = 97000 sebesar 374,5 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n_o) pada bilangan Reynolds = 145000 sebesar 609,2 rpm dan (n_o) pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 632,86 rpm

Pada Gambar 4.1 menunjukkan grafik nilai putaran yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius sebagai fungsi Reynolds tanpa silinder pengganggu di depan *returning blade*. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa *trendline* dari grafik adalah meningkat sampai titik tertentu, dimana semakin meningkatnya nilai bilangan Reynolds maka nilai dari putaran turbin akan meningkat pula sampai titik tertentu. Putaran per satuan maksimum pada bilangan Reynold = 97000 adalah sebesar 374,5 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds = 145000 sebesar 609,2 rpm dan (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 632,86 rpm. Hasil dari data diatas sudah sesuai dengan teori yang ada,



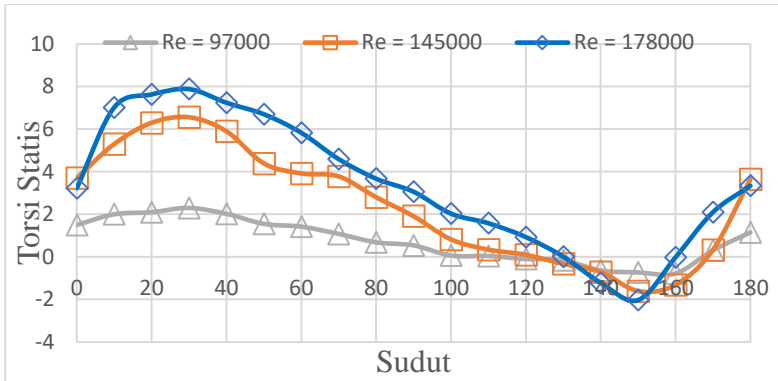
Gambar 4.1 Grafik putaran tanpa silinder pengganggu fungsi bilangan Reynolds

4.2.2 Analisa Torsi Statis Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Pada gambar 4.2 menunjukkan nilai torsi statis pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi sudut (θ). Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Grafik torsi statis terhadap terhadap sudut (θ) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai torsi statis terbesar pada sudut 30° di setiap bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds = 97000 nilai torsi statis nya sebesar 2,3 Ncm, kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 nilai torsi statis nya sebesar 6,56 Ncm dan pada bilangan Reynolds = 178000 nilai torsi statisnya sebesar 7,88 Ncm. Nilai torsi statis terendah di sudut 160° pada bilangan Reynolds = 97000 nilai torsi statisnya sebesar -0,78 kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 nilai torsi statisnya sebesar -1,61 di sudut 160° dan bilangan Reynolds = 178000 nilai torsi statis sebesar -2,03 di sudut 160° .

Dari data nilai torsi statis pada tiga kecepatan tersebut memiliki grafik yang memiliki sudut bukaan tertinggi pada sudut yang cenderung sama yaitu pada sudut 30° dan sudut bukaan paling rendah pada sudut yang cenderung sama yaitu pada sudut 150° dan 160° . Dan juga memiliki trendline grafik yang cenderung sama pada tiga variasi bilangan Reynolds. Dari data diatas membuktikan bahwa nilai torsi statis pada turbin dipengaruhi oleh arah datangnya aliran fluida. Kemampuan *self starting* terbaik turbin Savonius terjadi pada sudut 30° . Kemudian terlihat pada grafik pada sudut 150° dan 160° bernilai negatif hal ini menunjukkan pada bukaan sudut sudu yang bernilai negatif gaya *drag* memiliki arah yang berlawanan dengan arah putaran turbin, sehingga turbin angin Savonius tidak memiliki kemampuan *self starting*.



Gambar 4.2 Grafik torsi statis tanpa silinder pengganggu fungsi sudut

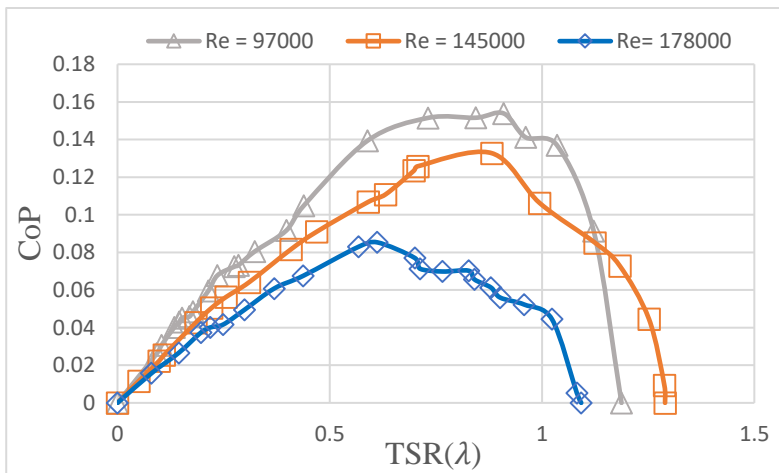
4.2.3 Analisa *Coefficient of Power* Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *power* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana daya output yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius adalah dari perkalian torsi dinamis dengan putaran turbin angin Savonius, kemudian dibagi dengan daya input dari turbin angin Savonius sehingga didapatkan nilai dari *Coefficient of Power*. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Gambar grafik 4.3 *Coefficient of Power* (CoP_o) terhadap *Tip Speed Ratio* (λ) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) terbesar pada *Tip Speed Ratio* (λ) tertentu di setiap bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds = 97000 nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) maksimum sebesar 15,3% pada *Tip*

Speed Ratio (λ) = 0,91 ,kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 13,3% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,88 dan pada bilangan Reynolds = 178000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 8,3% pada *Tip Speed Ratio* (λ)= 0,6.

Dari ketiga nilai didapatkan bahwa *Coefficient of Power* yang paling tinggi adalah pada bilangan Reynolds = 97000 dengan nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 15,3% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,91. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari penurunan tekanan didepan *returning blade* sehingga meningkatkan selisih gaya drag pada turbin angin. Savonius



Gambar 4.3 Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu fungsi tip speed ratio

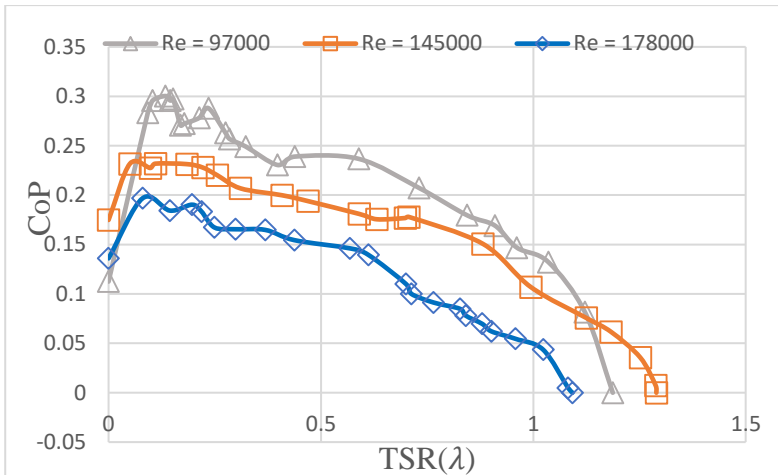
4.2.4 Analisa *Coefficient of Moment* Turbin Angin Savonius Tanpa Silinder Pengganggu

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu

terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *Coefficient of moment* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana nilai *Coefficient of moment* dari nilai torsi dinamis turbin angin Savonius dibagi dengan tekanan dinamis aliran bebas dikalikan dengan luas penampang turbin dan dikali setengah diameter turbin.. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000. Hasil dari *Coefficient of Moment* yang dilakukan pada eksperimen pada variasi bilangan Reynolds dapat dilihat pada gambar 4.3

Gambar 4.3 diatas menunjukkan grafik menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (C_m) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai C_m maksimum terjadi pada bilangan Reynolds = 97000 dan nilai C_m terendah terjadi pada = 178000. *Coefficient of Moment* pada bilangan Reynolds = 97000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 29,71% pada *tip speed ratio* = 0,015, kemudian pada Reynolds = 145000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 23,16% pada *tip speed ratio* = 0,055 dan pada Reynolds 178000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 19% pada *tip speed ratio* = 0,098.

Dari data grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *Coefficient of Moment* meningkat pada *tip speed ratio* awal hingga mencapai *tip speed ratio* dengan nilai optimum, kemudian mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai dari *tip speed ratio*.



Gambar 4.4 Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu fungsi *tip speed ratio*

4.3 Analisa Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0$

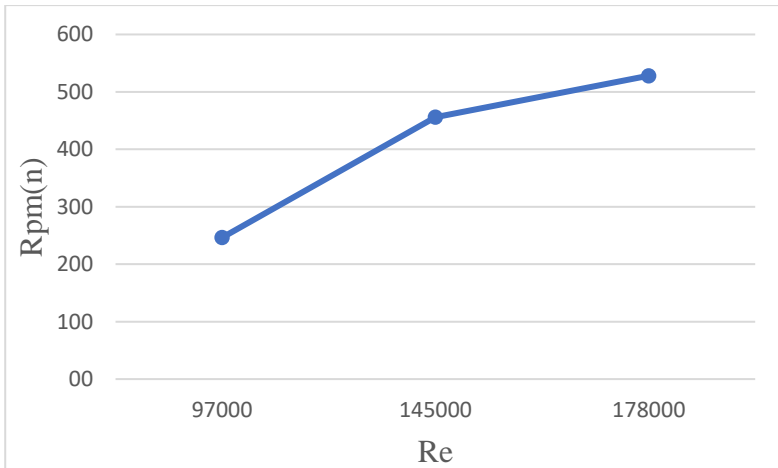
Penempatan penghalang didepan *returning blade* berupa silinder yang tegak lurus dengan arah aliran angin (y) yang dapat menurunkan nilai gaya drag yang timbul pada *returning blade*. Silinder pengganggu diletakan pada jarak $S/D = 1,8$ dengan $d/D =$ dengan penempatan silinder $y/D = 0,0$. Analisa performa turbin angin Savonius dilakukan dengan meninjau nilai dari putaran turbin(n), Torsi Statis (T_s), *Coefficient of Performance* (CoP) dan *Coefficient of Moment* (C_m). Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds 97000 , 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds 178000.

4.3.1 Analisa Putaran Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0$

Pada gambar 4.5 menunjukkan nilai putaran per satuan waktu (n) pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan diameter $d/D = 1$ silinder ditempatkan $y/D = 0$ pada jarak $S/D = 1,8$ terhadap bilangan Reynolds. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Grafik putaran per satuan waktu (n) terhadap bilangan Reynolds menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai putaran (n) ketika bilangan Reynolds ikut meningkat. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang mengenai turbin meningkat, maka kecepatan putar dari turbin savonius meningkat. Nilai putaran per satuan waktu (n) pada bilangan Reynolds = 97000 sebesar 246,4 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n) pada bilangan Reynolds = 145000 sebesar 455,9 rpm dan (n) pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 528,1 rpm

Pada Gambar 4.5 menunjukkan grafik nilai putaran yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius sebagai fungsi Reynolds tanpa silinder pengganggu di depan *returning blade*. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa *trendline* dari grafik adalah meningkat sampai titik tertentu dan nilai putarannya akan konstan, dimana semakin meningkatnya nilai bilangan Reynolds maka nilai dari putaran turbin akan meningkat pula sampai titik tertentu dan akan konstan. Putaran per satuan maksimum pada bilangan Reynold = 97000 adalahh 246,4 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds = 145000 sebesar 455,9 rpm dan (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 528,1 rpm. Hasil dari data diatas sudah sesuai dengan teori yang ada,



Gambar 4.5 Grafik putaran dengan silinder pengganggu fungsi Reynolds Number pada $y/D = 0$

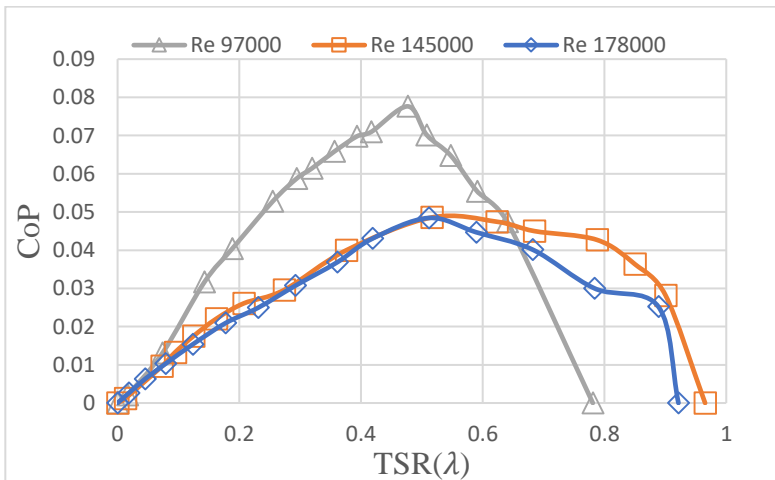
4.3.2 Analisa *Coefficient Of Power* Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0$

Pada gambar 4.6 menunjukkan nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan diameter $d/D = 1$ silinder ditempatkan $y/D = 0$ pada jarak $S/D = 1,8$ terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *power* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana daya output yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius adalah dari perkalian torsi dinamis dengan putaran turbin angin Savonius, kemudian dibagi dengan daya input dari turbin angin Savonius sehingga didapatkan nilai dari *Coefficient of Power*. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Gambar grafik 4.5 *Coefficient of Power* (CoP_o) terhadap terhadap *Tip Speed Ratio* (λ) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) Maksimum pada *Tip Speed Ratio* (λ) tertentu di

setiap bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds = 97000 nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) maksimum sebesar 7,77% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,476 ,kemudian pada bilangan Reynolds = 178000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 4,8% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,51 dan pada bilangan Reynolds = 145000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 4,8% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,51.

Dari ketiga nilai didapatkan bahwa *Coefficient of Power* yang paling tinggi adalah pada bilangan Reynolds = 90000 dengan nilai *Coefficient of Power* nya sebesar 7,77% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,476. Hal ini terjadi sesuai dengan karakteristik turbin angin Savonius memiliki kemampuan yang baik pada kecepatan angin yang rendah. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari penurunan tekanan didepan *returning blade* sehingga meningkatkan selisih gaya drag pada turbin angin. Savonius



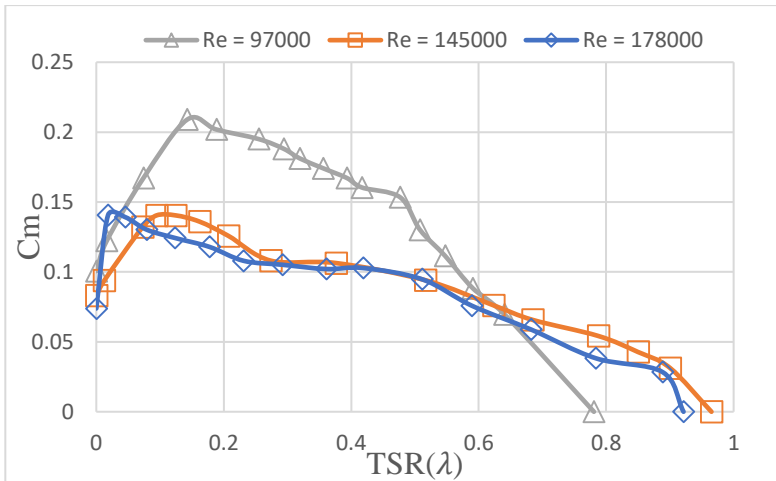
Gambar 4.6 Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi tip speed ratio pada $y/D = 0$

4.3.3 Analisa *Coefficient Of Moment* Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0$

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *Coefficient of moment* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana nilai *Coefficient of moment* dari nilai torsi dinamis turbin angin Savonius dibagi dengan tekanan dinamis aliran bebas dikalikan dengan luas penampang turbin dan dikali setengah diameter turbin.. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000. Hasil dari *Coefficient of Moment* yang dilakukan pada eksperimen pada variasi bilangan Reynolds dapat dilihat pada gambar 4.3.

Gambar 4.3 diatas menunjukkan grafik menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai Cm maksimum terjadi pada bilangan Reynolds = 97000 dan nilai Cm terendah terjadi pada bilangan Reynolds = 145000. *Coefficient of Moment* pada bilangan Reynolds = 97000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 20,8% pada *tip speed ratio* = 0,14, kemudian pada Reynolds 178000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 13,92% pada *tip speed ratio* = 0,045 dan pada Reynolds = 145000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 14,04% pada *tip speed ratio* = 0,094.

Dari data grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *Coefficient of Moment* meningkat pada *tip speed ratio* awal hingga mencapai *tip speed ratio* dengan nilai optimum, kemudian mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai dari *tip speed ratio*.



Gambar 4.7 Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi *tip speed ratio* pada $y/D = 0$

4.4 Analisa Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,25$

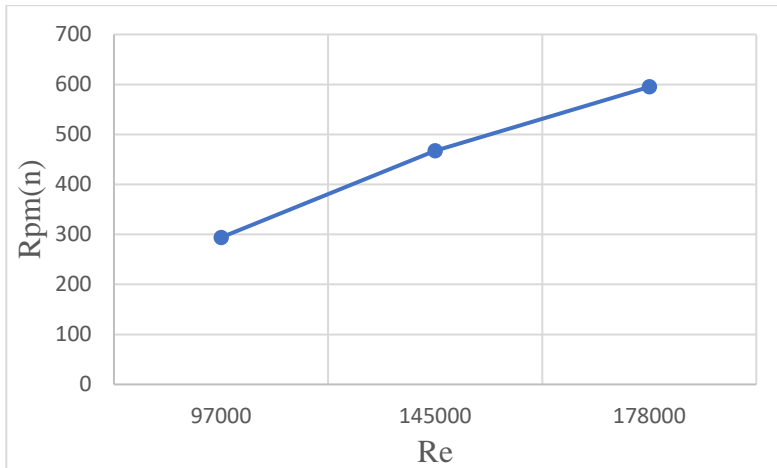
Penempatan penghalang didepan *returning blade* berupa silinder yang tegak lurus dengan arah aliran angin (y) yang dapat menurunkan nilai gaya drag yang timbul pada *returning blade*. Silinder pengganggu diletakan pada jarak $S/D = 1,8$ dengan $d/D =$ dengan penempatan silinder $y/D = 0,25$. Analisa performa turbin angin Savonius dilakukan dengan meninjau nilai dari putaran turbin(n), Torsi Statis (T_s), *Coefficient of Performance* (CoP) dan *Coefficient of Moment* (C_m). Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds 178000.

4.4.1 Analisa Putaran Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,25$

Pada gambar 4.8 menunjukkan nilai putaran per satuan waktu (n) pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan diameter $d/D = 1$ silinder ditempatkan $y/D = 0$ pada jarak $S/D = 1,8$ terhadap bilangan Reynolds. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000 , 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds 178000.

Grafik putaran per satuan waktu (n) terhadap bilangan Reynolds menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai putaran (n) ketika bilangan Reynolds ikut meningkat. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang mengenai turbin meningkat, maka kecepatan putar dari turbin savonius meningkat. Nilai putaran per satuan waktu (n) pada bilangan Reynolds = 97000 sebesar 293,12 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n) pada bilangan Reynolds = 145000 sebesar 467,29 rpm dan (n) pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 595,09 rpm

Pada Gambar 4.8 menunjukkan grafik nilai putaran yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius sebagai fungsi Reynolds tanpa silinder pengganggu di depan *returning blade*. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa *trendline* dari grafik adalah meningkat sampai titik tertentu dan nilai putarannya akan konstan , dimana semakin meningkatnya nilai bilangan Reynolds maka nilai dari putaran turbin akan meningkat pula sampai titik tertentu dan akan konstan. Putaran per satuan maksimum pada bilangan Reynold = 97000 adalah 293,13 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds 145000 sebesar 467,29 rpm dan (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 595,09 rpm. Hasil dari data diatas sudah sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 4.8 Grafik putaran dengan silinder pengganggu fungsi Reynolds Number pada $y/D = 0,25$

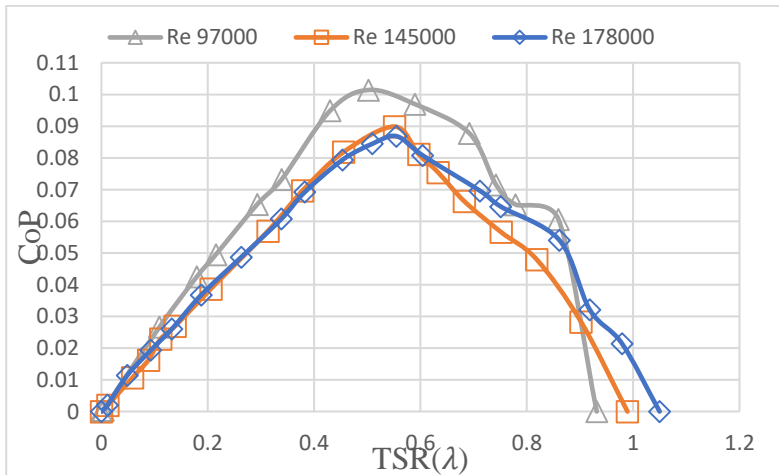
4.4.2 Analisa *Coefficient Of Power* Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,25$

Pada gambar 4.9 menunjukkan nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan diameter $d/D = 1$ silinder ditempatkan $y/D = 0,25$ pada jarak $S/D = 1,8$ terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *power* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana daya output yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius adalah dari perkalian torsi dinamis dengan putaran turbin angin Savonius, kemudian dibagi dengan daya input dari turbin angin Savonius sehingga didapatkan nilai dari *Coefficient of Power*. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds 178000.

Gambar grafik 4.9 *Coefficient of Power* (CoP_o) terhadap *Tip Speed Ratio* (λ) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai *Coefficient of*

Power (CoP_o) Maksimum pada *Tip Speed Ratio* (λ) tertentu di setiap bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds 97000 nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) maksimum sebesar 10,1% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,55, kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 9% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,55 dan pada bilangan Reynolds = 178000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 8,7% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,55.

Dari ketiga nilai didapatkan bahwa *Coefficient of Power* yang paling tinggi adalah pada bilangan Reynolds 97000 dengan nilai *Coefficient of Power* nya sebesar 10,1% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,55. Hal ini terjadi sesuai dengan karakteristik turbin angin Savonius memiliki kemampuan yang baik pada kecepatan angin yang rendah dan kecepatan sedang. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari penurunan tekanan didepan *returning blade* sehingga meningkatkan selisih gaya drag pada turbin angin Savonius



Gambar 4.9 Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi *tip speed ratio* pada $y/D = 0,25$

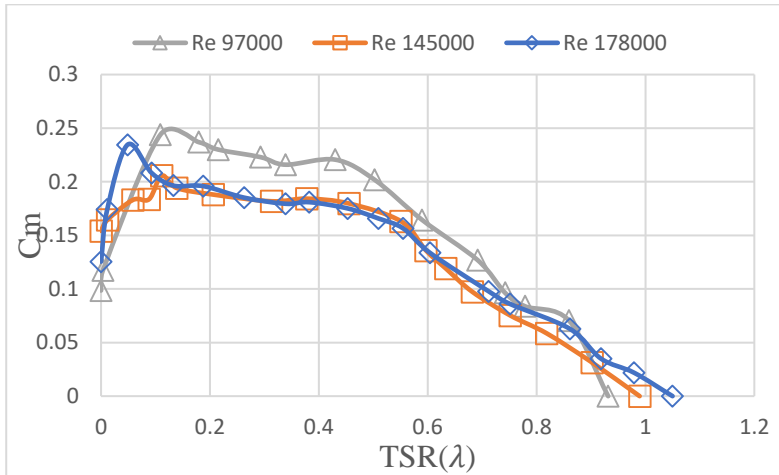
4.4.3 Analisa *Coefficient Of Moment* Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,25$

Pada gambar 4.10 menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *Coefficient of moment* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana nilai *Coefficient of moment* dari nilai torsi dinamis turbin angin Savonius dibagi dengan tekanan dinamis aliran bebas dikalikan dengan luas penampang turbin dan dikali setengah diameter turbin.. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000. Hasil dari *Coefficient of Moment* yang dilakukan pada eksperimen pada variasi bilangan Reynolds dapat dilihat pada gambar 4.10

Gambar 4.3 diatas menunjukkan grafik menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai Cm maksimum terjadi pada bilangan Reynolds = 178000 dan nilai Cm terendah terjadi pada = 145000. *Coefficient of Moment* pada bilangan Reynolds = 97000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 24,4% pada *tip speed ratio* = 0,1, kemudian pada Reynolds = 178000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 23,4% pada *tip speed ratio* = 0,048 dan pada Reynolds = 145000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 20,5% pada *tip speed ratio* = 0,11.

Dari data grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *Coefficient of Moment* meningkat pada *tip speed ratio* awal hingga mencapai *tip speed ratio* dengan nilai optimum, kemudian

mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai dari tip speed ratio.



Gambar 4.10 Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi *tip speed ratio* pada $y/D = 0,25$

4.5 Analisa Performa Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$

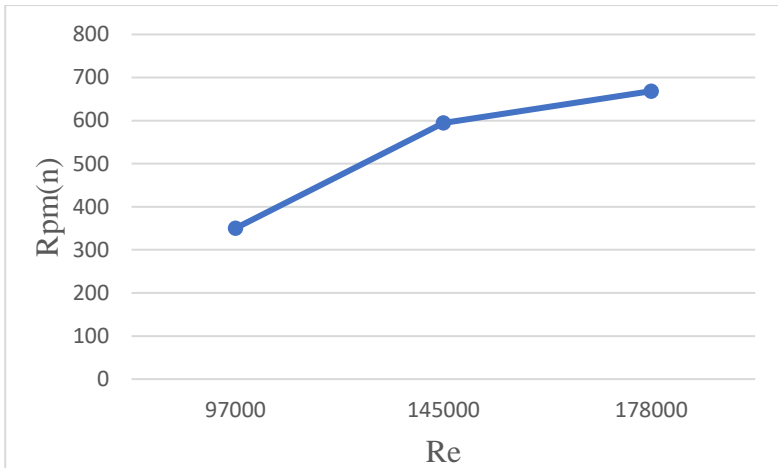
Penempatan penghalang didepan *returning blade* berupa silinder yang tegak lurus dengan arah aliran angin (y) yang dapat menurunkan nilai gaya drag yang timbul pada *returning blade*. Silinder pengganggu diletakan pada jarak $S/D = 1,8$ dengan $d/D =$ dengan penempatan silinder $y/D = 0,5$. Analisa performa turbin angin Savonius dilakukan dengan meninjau nilai dari putaran turbin(n), Torsi Statis (T_s), *Coefficient of Performance* (CoP) dan *Coefficient of Moment* (C_m). Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

4.5.1 Analisa Putaran Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$

Pada gambar 4.11 menunjukkan nilai putaran per satuan waktu (n) pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan diameter $d/D = 1$ silinder ditempatkan $y/D = 0,5$ pada jarak $S/D = 1,8$ terhadap bilangan Reynolds. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Grafik putaran per satuan waktu (n) terhadap bilangan Reynolds menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai putaran (n) ketika bilangan Reynolds ikut meningkat. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang mengenai turbin meningkat, maka kecepatan putar dari turbin savonius meningkat. Nilai putaran per satuan waktu (n) pada bilangan Reynolds = 97000 sebesar 350,16 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n) pada bilangan Reynolds = 145000 sebesar 594,28 rpm dan (n) pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 668,43 rpm.

Pada Gambar 4.11 menunjukkan grafik nilai putaran yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius sebagai fungsi Reynolds tanpa silinder pengganggu di depan *returning blade*. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa *trendline* dari grafik adalah meningkat sampai titik tertentu dan nilai putarannya akan konstan, dimana semakin meningkatnya nilai bilangan Reynolds maka nilai dari putaran turbin akan meningkat pula sampai titik tertentu dan akan konstan. Putaran per satuan maksimum pada bilangan Reynold = 97000 adalah 350,16 rpm kemudian nilai putaran per satuan waktu (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds = 145000 sebesar 594,28 rpm dan (n_o) maksimum pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 668,43 rpm. Hasil dari data diatas sudah sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 4.11 Grafik putaran dengan silinder pengganggu fungsi Reynolds Number pada $y/D = 0,5$

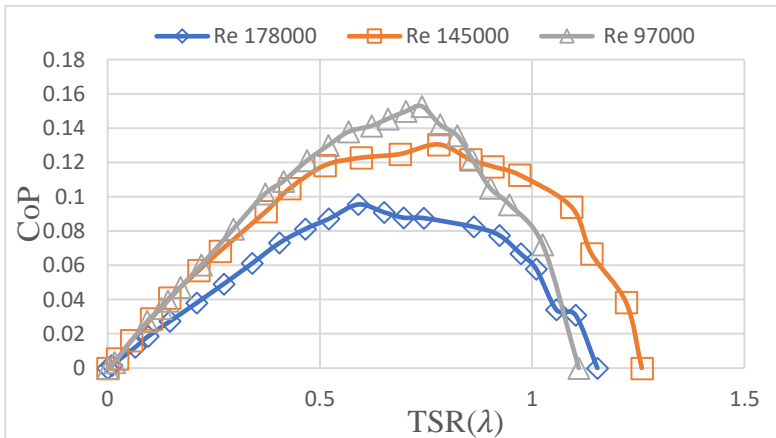
4.5.2 Analisa *Coefficient Of Performance* Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$

Pada gambar 4.12 menunjukkan nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) pada turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan diameter $d/D = 1$ silinder ditempatkan $y/D = 0,5$ pada jarak $S/D = 1,8$ terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *power* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana daya output yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius adalah dari perkalian torsi dinamis dengan putaran turbin angin Savonius, kemudian dibagi dengan daya input dari turbin angin Savonius sehingga didapatkan nilai dari *Coefficient of Power*. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds 178000.

Gambar grafik 4.12 *Coefficient of Power* (CoP_o) terhadap terhadap *Tip Speed Ratio* (λ) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai *Coefficient of*

Power (CoP_o) Maksimum pada *Tip Speed Ratio* (λ) tertentu di setiap bilangan Reynolds. Pada bilangan Reynolds = 97000 nilai *Coefficient of Power* (CoP_o) maksimum sebesar 15,3% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,74 ,kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 13,05% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,77 dan pada bilangan Reynolds = 178000 nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 9,54% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,58.

Dari ketiga nilai didapatkan bahwa *Coefficient of Power* yang paling tinggi adalah pada bilangan Reynolds = 97000 dengan nilai *Coefficient of Power* nya sebesar 15,3% pada *Tip Speed Ratio* (λ) = 0,74. Hal ini terjadi sesuai dengan karakteristik turbin angin Savonius memiliki kemampuan yang baik pada kecepatan angin yang rendah dan kecepatan sedang. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari penurunan tekanan didepan *returning blade* sehingga meningkatkan selisih gaya drag pada turbin angin. Savonius



Gambar 4.12 Grafik *Coefficient of Power* turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi *tip speed ratio* pada $y/D = 0,5$

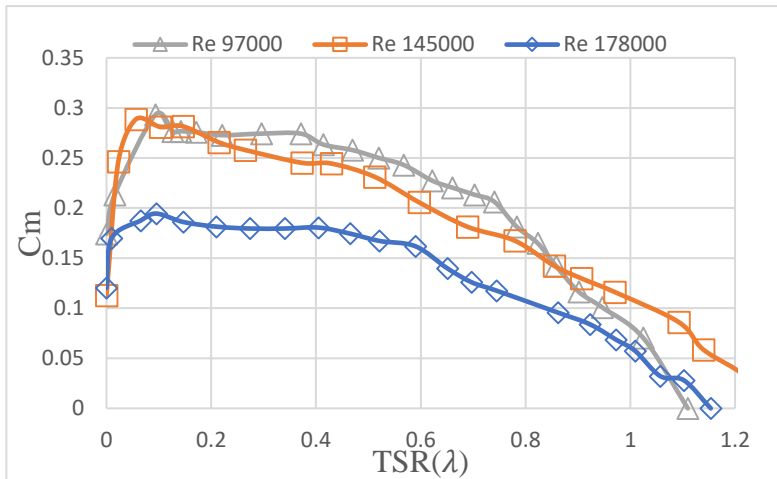
4.5.3 Analisa *Coefficient Of Moment* Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$

Pada gambar 4.13 menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Hasil pengukuran dari *Coefficient of moment* yang dihasilkan dari pengukuran menggunakan *brake dynamometer*, dimana nilai *Coefficient of moment* dari nilai torsi dinamis turbin angin Savonius dibagi dengan tekanan dinamis aliran bebas dikalikan dengan luas penampang turbin dan dikali setengah diameter turbin.. Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000. Hasil dari *Coefficient of Moment* yang dilakukan pada eksperimen pada variasi bilangan Reynolds dapat dilihat pada gambar 4.13

Gambar 4.13 diatas menunjukkan grafik menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* (Cm) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi *Tip Speed Ratio* (λ). Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai Cm maksimum terjadi pada bilangan Reynolds = 97000 dan nilai Cm terendah terjadi pada = 178000. *Coefficient of Moment* pada bilangan Reynolds = 178000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 19,4% pada *tip speed ratio* = 0,095, kemudian pada Reynolds = 145000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 28,8% pada *tip speed ratio* = 0,055 dan pada Reynolds = 97000 memiliki *Coefficient of Moment* maksimum 29,93% pada *tip speed ratio* = 0,093.

Dari data grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *Coefficient of Moment* meningkat pada *tip speed ratio* awal hingga mencapai *tip speed ratio* dengan nilai optimum, kemudian

mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya nilai dari tip speed ratio.



Gambar 4.13 Grafik *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu fungsi *tip speed ratio* pada $y/D = 0,5$

4.5.4 Analisa Torsi Statis Turbin Angin Savonius dengan Silinder Pengganggu di Posisi $y/D = 0,5$

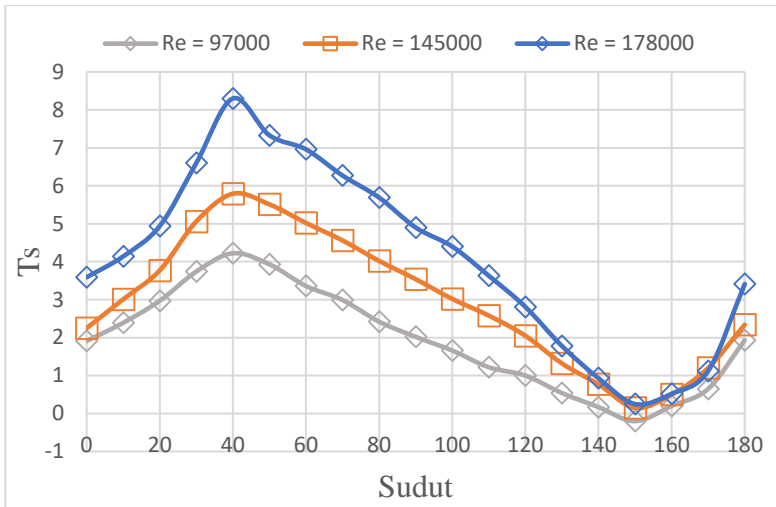
Pada gambar 4.2 menunjukkan nilai torsi statis pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu terhadap fungsi sudut (θ). Pada penelitian ini dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Grafik torsi statis terhadap terhadap sudut (θ) pada turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai torsi statis terbesar pada sudut 40° di setiap bilangan Reynolds.

Pada bilangan Reynolds = 97000 nilai torsi statis nya sebesar 4,22 Ncm, kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 nilai torsi statis nya sebesar 5,79 Ncm dan pada bilangan Reynolds = 178000 nilai torsi statisnya sebesar 8,3 Ncm. Nilai torsi statis terendah di sudut 150° pada bilangan Reynolds = 97000 nilai torsi statisnya sebesar -0,2 kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 nilai torsi statisnya sebesar 0,15 di sudut 150° dan bilangan Reynolds = 178000 nilai torsi statis sebesar 0,25 di sudut 150° .

Dari data nilai torsi statis pada tiga kecepatan tersebut memiliki grafik yang memiliki sudut bukaan tertinggi pada sudut yang cenderung sama yaitu pada sudut 30° dan di sudut 150° .

Dan juga memiliki trendline grafik yang cenderung sama pada tiga variasi bilangan Reynolds. Dengan adanya silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius pada bilangan Reynolds = 145000 dan bilangan Reynolds = 178000 mempunyai *self starting* di setiap sudut karna nilai dari torsi statis pada kedua bilangan Reynolds tersebut tidak nilai negatif. Dari data diatas membuktikan bahwa nilai torsi statis pada turbin dipengaruhi oleh arah datangnya aliran fluida. Kemampuan *self starting* paling baik turbin Savonius terjadi di sudut 30° .



Gambar 4.14 Grafik torsi statis dengan silinder pengganggu fungsi sudut

4.6 Analisa Perbandingan Performa Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu.

Analisa perbandingan performa turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari performa turbin angin Savonius. Analisa perbandingan yang dilakukan adalah perbandingan n/n_0 fungsi bilangan Reynolds, CoP/CoP_0 fungsi *tip speed ratio*, Cm/Cm_0 fungsi *tip speed ratio* dan Ts/Ts_0 fungsi sudut. Dibawah ini akan dijelaskan analisi perbandingan sebagai berikut:

4.6.1 Analisa Perbandingan Putaran (n) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu

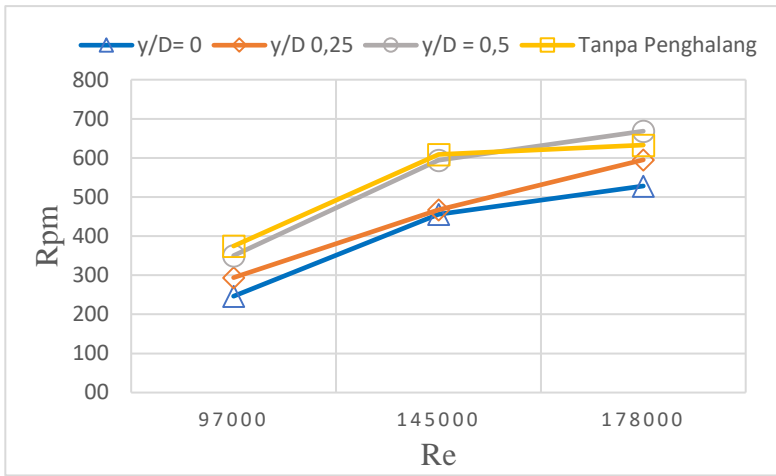
Perbandingan nilai putaran turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi bilangan Reynolds.

Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada tiga posisi yaitu pada $y/D = 0$, $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000, 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000 dan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Grafik pada gambar 4.15 menunjukkan nilai putaran turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan dengan silinder pengganggu pada tiga posisi. Berdasarkan grafik pada gambar 4.15 diketahui bahwa nilai dari putara turbin angin Savonius memiliki trendline adalah meningkat sampai titik tertentu, dimana semakin meningkatnya nilai bilangan Reynolds maka nilai dari putaran turbin akan meningkat pula sampai titik tertentu. Pada grafik dapat diketahui bahwa putaran pada bilangan Reynolds = 97000 memiliki nilai putaran maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dengan nilai 374,56 rpm, kemudian diikuti dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 323,33 rpm , $y/D = 0,25$ dengan nilai = 271,2 rpm dan $y/D = 0,0$ dengan nilai = 214,5. Kemudian pada bilangan Reynolds = 145000 memiliki nilai putaran maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dengan nilai 609,2 rpm, kemudian diikuti dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 576,87 rpm , $y/D = 0,25$ dengan nilai = 426,02 rpm dan $y/D = 0,0$ dengan nilai 425,3. Sedangkan pada bilangan Reynolds = 178000 memiliki nilai putaran maksimum paling tinggi pada turbin angin Savonius adalah dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 638,82 rpm kemudian diikuti tanpa silinder pengganggu dengan nilai 632,86rpm, $y/D = 0,25$ dengan nilai 555,03 rpm dan $y/D = 0,0$ dengan nilai 509,3.

Jadi nilai pada grafik putaran terhadap bilangan Reynolds dengan menggunakan silindr pengganggu dirasa kurang efektif, karena dengan menggunakan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius menurunkan nilai dari putaran turbin angin Savonius di setiap bilangan Reynolds kecuali pada bilangan

Reynolds = 178000, akan tetapi kenaikan tidak signifikan pada bilangan Reynolds = 178000 sehingga cenderung kurang efektif dengan menambah silinder pengganggu.



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan nilai putaran tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi bilangan Reynolds

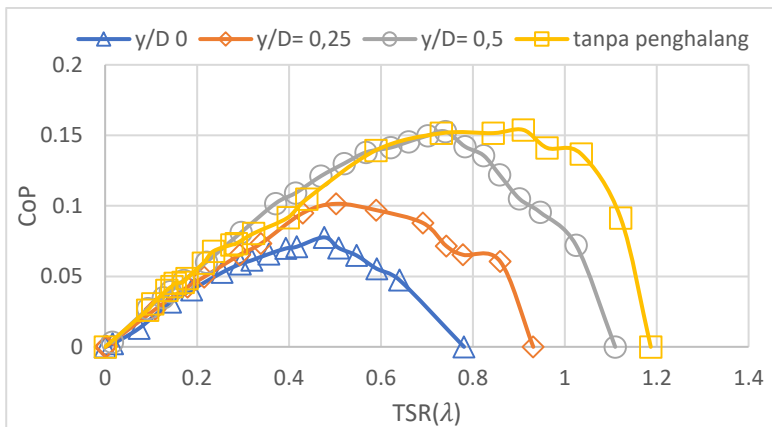
4.6.2 Analisa Perbandingan *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 97000$

Perbandingan nilai *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio*. Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada tiga posisi yaitu pada $y/D = 0$, $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000.

Grafik pada gambar 4.16 menunjukkan nilai *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan dengan silinder pengganggu pada tiga posisi y/D . Pada grafik dapat diketahui bahwa *Coefficient of Power* pada bilangan

Reynolds = 97000 memiliki nilai *Coefficient of Power* maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dengan nilai 15,4 % pada saat *tip speed ratio* = 0,91. Kemudian diikuti, dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 15,3 % pada *tip speed ratio* = 0,74 selanjutnya pada posisi $y/D = 0,25$ dengan *Coefficient of Power* maksimum sebesar 10,1% pada saat *tip speed ratio* = 0,5. Dan $y/D = 0,0$ dengan nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 7,7 % pada saat *tip speed ratio* = 0,47.

Jadi nilai pada grafik perbandingan *Coefficient of Power* terhadap fungsi *tip speed ratio* pada bilangan Reynolds = 97000. Dengan menggunakan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius tidak efektif meningkatkan nilai dari *Coefficient of Power* pada bilangan Reynolds = 97000. Karena dengan ditempatkan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius menurunkan nilai dari *Coefficient of Power*. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari penurunan tekanan didepan *returning blade* sehingga meningkatkan selisih gaya drag pada turbin angin Savonius



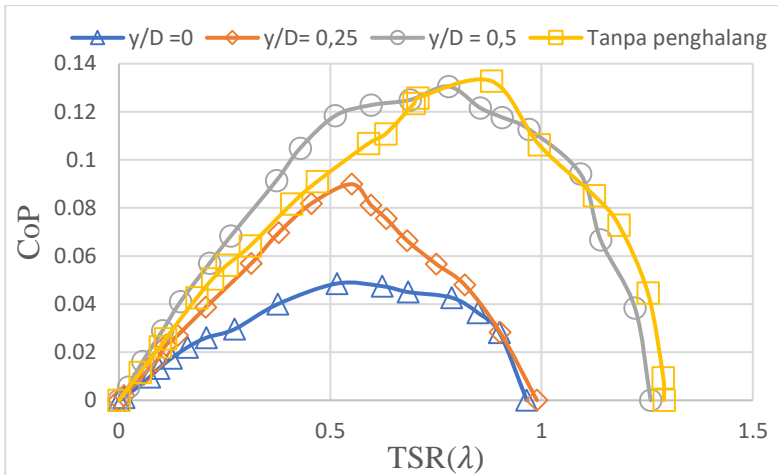
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan nilai *Coefficient of Power* tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) pada $Re = 97000$

4.6.3 Analisa Perbandingan *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 145000$

Perbandingan nilai *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio*. Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada tiga posisi yaitu pada $y/D = 0$, $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000,

Grafik pada gambar 4.17 menunjukkan nilai *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan dengan silinder pengganggu pada tiga posisi y/D . Pada grafik dapat diketahui bahwa *Coefficient of Power* pada bilangan Reynolds = 145000 memiliki nilai *Coefficient of Power* maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dengan nilai 13,3 % pada saat *tip speed ratio* = 0,88. Kemudian diikuti dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 13,05 % pada *tip speed ratio* = 0,77. Selanjutnya pada posisi $y/D = 0,25$ dengan *Coefficient of Power* maksimum sebesar 9 % pada saat *tip speed ratio* = 0,55. Dan $y/D = 0,0$ dengan nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 4,8 % pada saat *tip speed ratio* = 0,51.

Jadi nilai pada grafik perbandingan *Coefficient of Power* terhadap fungsi *tip speed ratio* pada bilangan Reynolds = 145000. Dengan menggunakan silinder pengganggu di depan turbin angin Savonius tidak efektif meningkatkan *Coefficient of Power* pada bilangan Reynolds = 145000, karena dengan ditempatkan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius menurunkan nilai dari *Coefficient of Power*.



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan nilai *Coefficient of Power* tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) pada $Re = 145000$

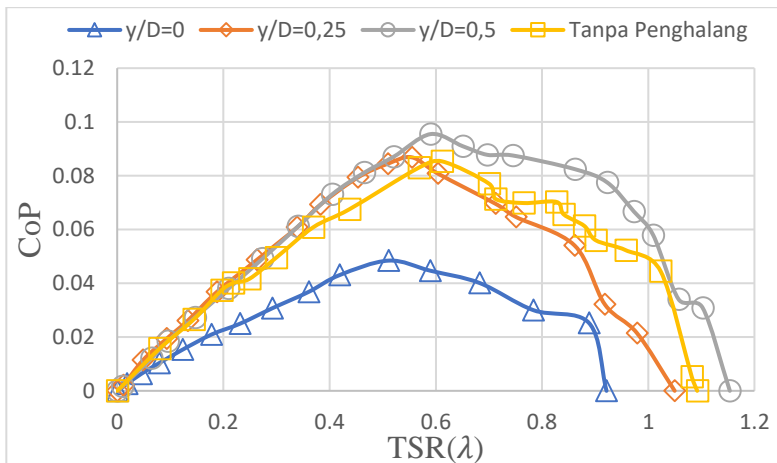
4.6.4 Analisa Perbandingan *Coefficient of Power* (CoP) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 178000$

Perbandingan nilai *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio*. Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada tiga posisi yaitu pada $y/D = 0$, $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Grafik pada gambar 4.18 menunjukkan nilai *Coefficient of Power* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan dengan silinder pengganggu pada tiga posisi y/D . Pada grafik dapat diketahui bahwa *Coefficient of Power* pada bilangan Reynolds = 178000 memiliki nilai *Coefficient of Power* maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 9,5 % pada *tip*

speed ratio = 0,58 kemudian diikuti pada posisi $y/D = 0,25$ dengan *Coefficient of Power* maksimum sebesar 8,6% pada saat *tip speed ratio* = 0,55. Selanjutnya tanpa silinder pengganggu dengan nilai 91 % pada saat *tip speed ratio* = 0,6. Dan $y/D = 0,0$ dengan nilai *Coefficient of Power* maksimum sebesar 4,8 % pada saat *tip speed ratio* = 0,51.

Jadi nilai pada grafik perbandingan *Coefficient of Power* terhadap fungsi *tip speed ratio* pada bilangan Reynolds = 178000. Dengan menggunakan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius kurang efektif meningkatkan *Coefficient of Power* di posisi $y/D = 0,5$ dan posisi $y/D = 0,25$ karena peningkatan *Coefficient of Power* tidak terlalu signifikan pada bilangan Reynolds = 178000. Akan tetapi penempatan silinder pengganggu pada turbin angin Savonius di posisi $y/D = 0$ kurang efektif meningkatkan *Coefficient of Power* turbin angin Savonius. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari penurunan tekanan didepan *returning blade* sehingga meningkatkan selisih gaya drag pada turbin angin. Savonius



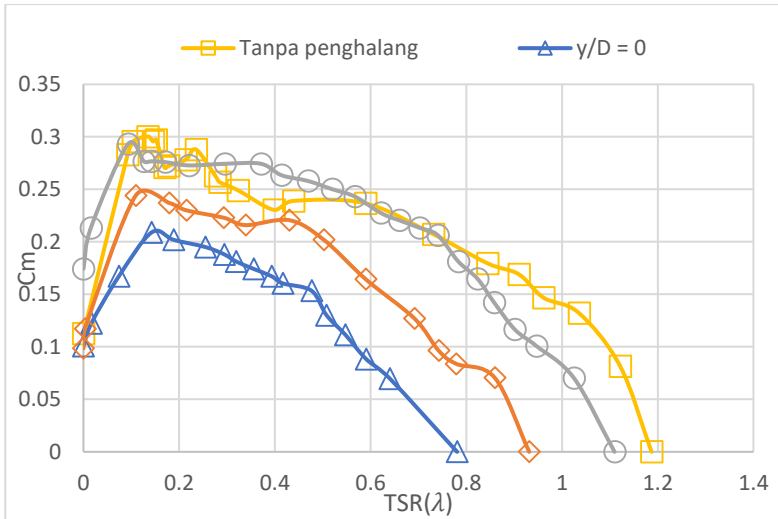
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan nilai *Coefficient of Power* tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) pada $Re = 178000$

4.6.5 Analisa Perbandingan *Coefficient of Moment* (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 97000$

Perbandingan nilai *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio*. Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada tiga posisi yaitu pada $y/D = 0$, $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000.

Pada gambar grafik pada gambar 4.19 menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan dengan silinder pengganggu pada tiga posisi y/D . Pada grafik dapat diketahui bahwa *Coefficient of Moment* pada bilangan Reynolds = 97000 memiliki nilai *Coefficient of Moment* maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dengan nilai 30,3 % pada saat *tip speed ratio* = 0,133. Selanjutnya dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 29,3 % pada *tip speed ratio* = 0,093. Kemudian diikuti pada posisi $y/D = 0,25$ dengan *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 24,4% pada saat *tip speed ratio* = 0,10. Dan $y/D = 0,1$ dengan nilai *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 20,08 % pada saat *tip speed ratio* = 0,14.

Sehingga pada grafik perbandingan *Coefficient of Moment* terhadap fungsi *tip speed ratio* pada bilangan Reynolds = 97000. Dengan menggunakan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius tidak efektif meningkatkan *Coefficient of Moment* di posisi $y/D = 0,5$, $y/D = 0,25$ dan posisi $y/D = 0,0$. Karena tidak ada peningkatan *Coefficient of Moment* pada turbin angin Savonius setelah ditempatkan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius.



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan nilai *Coefficient of Moment* tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) pada $Re = 97000$

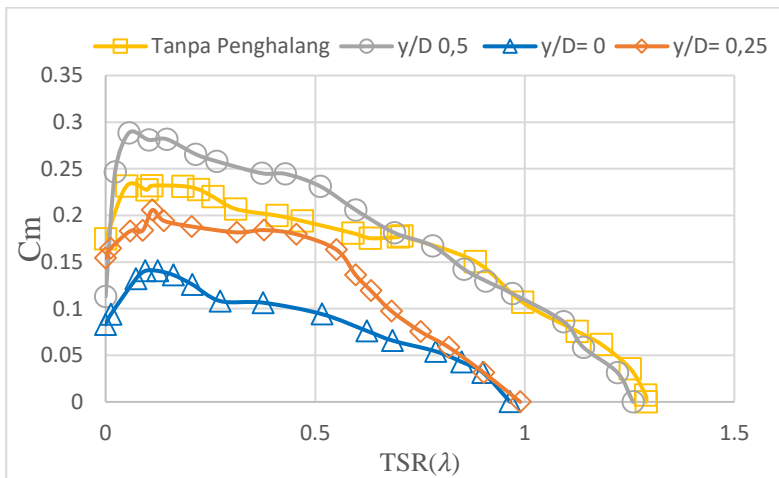
4.6.6 Analisa Perbandingan *Coefficient of Moment* (C_m) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re\ 145000$

Perbandingan nilai *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio*. Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada tiga posisi yaitu pada $y/D = 0$, $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 7,05 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000.

Pada gambar grafik pada gambar 4.20 menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan dengan silinder pengganggu pada tiga posisi y/D . Pada grafik dapat diketahui bahwa *Coefficient of Moment* pada bilangan Reynolds = 145000 memiliki nilai *Coefficient of Moment* maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius dengan

silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,5$ dengan nilai 28,86 % pada *tip speed ratio* = 0,055. Kemudian diikuti tanpa silinder pengganggu dengan nilai = 23,16 % pada saat *tip speed ratio* = 0,05. Selanjutnya pada posisi $y/D = 0,25$ dengan *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 19,4% pada saat *tip speed ratio* = 0,13. Dan $y/D = 0,0$ dengan nilai *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 14,11 % pada saat *tip speed ratio* = 0,12.

Sehingga pada grafik perbandingan *Coefficient of Moment* terhadap fungsi *tip speed ratio* pada bilangan Reynolds = 138000. Dengan menggunakan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius efektif meningkatkan *Coefficient of Moment* di posisi $y/D = 0,5$ pada bilangan Reynolds = 145000. Akan tetapi penempatan silinder pengganggu pada turbin angin Savonius di posisi $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0$ tidak efektif meningkatkan *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius.



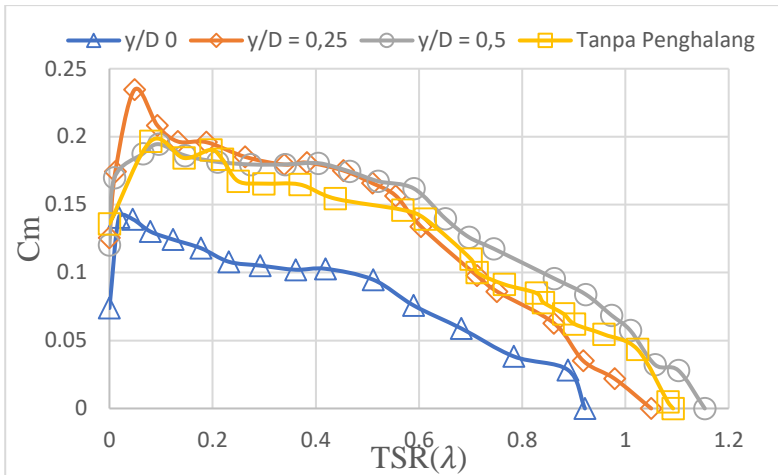
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan nilai *Coefficient of Moment* tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) pada $Re = 145000$

4.6.7 Analisa Perbandingan *Coefficient of Moment* (Cm) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada Re 178000

Perbandingan nilai *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio*. Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada tiga posisi yaitu pada $y/D = 0$, $y/D = 0,25$ dan $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 17800.

Pada gambar grafik pada gambar 4.21 menunjukkan nilai *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu dan dengan silinder pengganggu pada tiga posisi y/D . Pada grafik dapat diketahui bahwa *Coefficient of Moment* pada bilangan Reynolds = 178000 memiliki nilai *Coefficient of Moment* maksimum paling tinggi adalah turbin angin Savonius dengan silinder pengganggu dengan posisi $y/D = 0,25$ dengan nilai 25,94 % pada *tip speed ratio* = 0,048. Kemudian diikuti tanpa silinder pengganggu dengan nilai 18,7 % pada saat *tip speed ratio* = 0,65. Selanjutnya pada posisi $y/D = 0,5$ dengan *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 18% pada saat *tip speed ratio* = 0,089. Dan $y/D = 0,0$ dengan nilai *Coefficient of Moment* maksimum sebesar 13,92 % pada saat *tip speed ratio* = 0,045.

Sehingga pada grafik perbandingan *Coefficient of Moment* terhadap fungsi *tip speed ratio* pada bilangan Reynolds = 178000. Dengan menggunakan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius efektif meningkatkan *Coefficient of Moment* di posisi $y/D = 0,25$ pada bilangan Reynolds = 178000. Akan tetapi penempatan silinder pengganggu pada turbin angin Savonius di posisi $y/D = 0,5$ dan $y/D = 0$ tidak efektif meningkatkan *Coefficient of Moment* turbin angin Savonius



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan nilai *Coefficient of Moment* tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi *tip speed ratio* (λ) pada $Re = 178000$

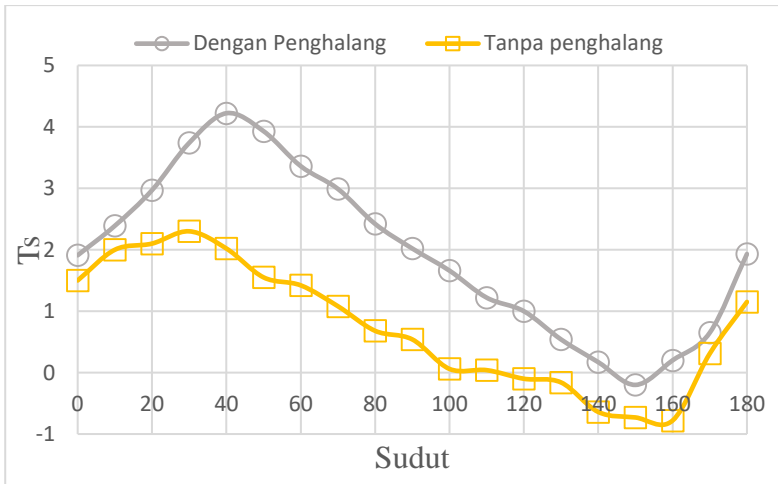
4.6.8 Analisa Perbandingan Torsi Statis (T_s) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re\ 97000$

Pada gambar 4.22 menunjukkan nilai torsi statis pada turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu terhadap fungsi sudut (θ). Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada posisi $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000.

Gambar 4.22 menunjukkan grafik perbandingan torsi statis terhadap terhadap sudut (θ) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada turbin angin Savonius. Grafik torsi statis tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai maksimum torsi statis terbesar pada sudut 30° dengan nilai sebesar 2,3 Ncm pada bilangan

Reynolds = 97000 . Savonius. Sedangkan grafik torsi statis dengan silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai maksimum torsi statis terbesar pada sudut 40° dengan nilai sebesar 4,22 Ncm pada bilangan Reynolds = 97000. Nilai torsi statis tanpa silinder pengganggu mempunyai nilai terendah di sudut 160° dengan nilai sebesar - 0,78 pada bilangan Reynolds = 97000. Sedangkan nilai torsi statis dengan silinder pengganggu mempunyai nilai terendah di sudut 150° dengan nilai sebesar - 0,2

Dari data nilai perbandingan torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu memiliki grafik yang memiliki sudut bukaan tertinggi pada sudut yang berbeda yaitu pada sudut 30° dan sudut 40° bukaan paling rendah pada sudut yang berbeda yaitu pada sudut 150° dan 160° . Grafik perbandingan tanpa dan dengan silinder pengganggu memiliki trendline grafik yang cenderung sama. Kemudian terlihat pada grafik pada sudut 150° dan 160° bernilai negative, hal ini menunjukkan pada bukaan sudut sudu yang bernilai negatif gaya *drag* memiliki arah yang berlawanan dengan arah putaran turbin, sehingga turbin angin Savonius tidak memiliki kemampuan *self starting*. Dari data diatas penempatan silinder pengganggu efektif meningkatkan nilai torsi statis dari turbin angin Savonius. Sehingga kemampuan *self starting* turbin Savonius menjadi lebih baik dibandingkan dengan tanpa silinder pengganggu.



Gambar 4.22 Grafik perbandingan nilai torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi sudut pada $Re = 97000$

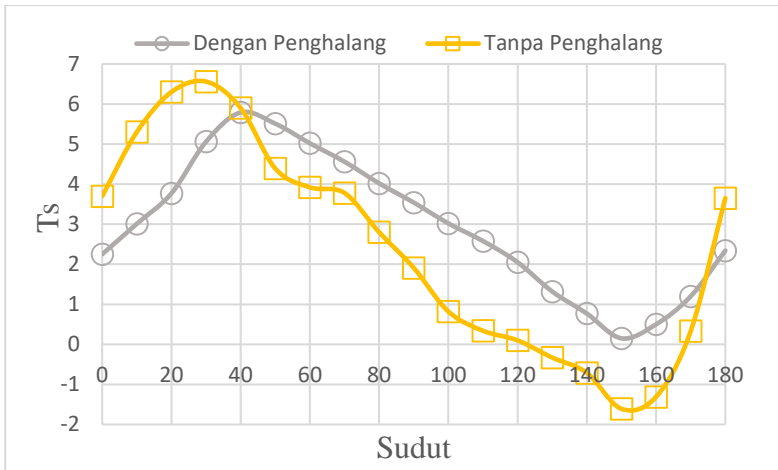
4.6.9 Analisa Perbandingan Torsi Statis (T_s) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 145000$

Pada gambar 4.23 menunjukkan nilai torsi statis pada turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu terhadap fungsi sudut (θ). Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada posisi $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 7,5 m/s dengan bilangan Reynolds = 145000.

Gambar 4.23 menunjukkan grafik perbandingan torsi statis terhadap terhadap sudut (θ) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada turbin angin Savonius. Grafik torsi statis tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai maksimum torsi statis terbesar pada sudut 30° dengan nilai sebesar 6,56 Ncm pada bilangan Reynolds = 145000 . Savonius. Sedangkan grafik torsi statis dengan silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai

maksimum torsi statis terbesar pada sudut 40° dengan nilai sebesar 5,79 Ncm pada bilangan Reynolds 145000. Nilai torsi statis tanpa silinder pengganggu mempunyai nilai terendah di sudut 150° dengan nilai sebesar $-1,61$ pada bilangan Reynolds = 145000. Sedangkan nilai torsi statis dengan silinder pengganggu mempunyai nilai terendah di sudut 150° dengan nilai sebesar 0,15

Dari data nilai perbandingan torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu memiliki grafik yang memiliki sudut bukaan tertinggi pada sudut yang berbeda yaitu pada sudut 30° dan sudut 40° bukaan paling rendah pada sudut yang cenderung sama yaitu pada sudut 150° . Kemudian terlihat pada grafik tanpa penghalang pada sudut 150° dan 160° bernilai negative, hal ini menunjukkan pada bukaan sudut sudu yang bernilai negatif gaya *drag* memiliki arah yang berlawanan dengan arah putaran turbin, sehingga turbin angin Savonius tidak memiliki kemampuan *self starting*. Dari data diatas penempatan silinder pengganggu tidak efektif meningkatkan nilai torsi statis dan menurunkan kemampuan *self starting* turbin angin Savonius. Akan tetapi dengan penempatan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds = 145000 di setiap sudutnya nilai torsi statis nya tidak ada yang bernilai negatif. Sehingga mempunyai *self starting* di setiap sudutnya



Gambar 4.23 Grafik perbandingan nilai torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi sudut pada $Re = 145000$

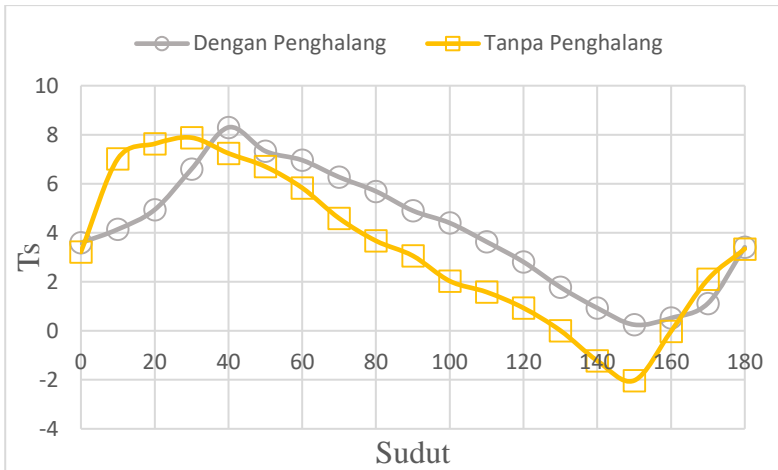
4.6.10 Analisa Perbandingan Torsi Statis (T_s) Turbin Angin Savonius tanpa dan dengan Silinder Pengganggu pada $Re = 178000$

Pada gambar 4.24 menunjukkan nilai torsi statis pada turbin angin Savonius tanpa dan dengan silinder pengganggu terhadap fungsi sudut (θ). Analisa perbandingan yang dilakukan tanpa dan dengan silinder pengganggu yang diletakan pada posisi $y/D = 0,5$. Analisa dilakukan pada variasi kecepatan 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000.

Gambar 4.24 menunjukkan grafik perbandingan torsi statis terhadap terhadap sudut (θ) tanpa dan dengan silinder pengganggu pada turbin angin Savonius. Grafik torsi statis tanpa silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai maksimum torsi statis terbesar pada sudut 30° dengan nilaisebesar 7,88 Ncm pada bilangan Reynolds = 178000 . Savonius. Sedangkan grafik torsi statis dengan silinder pengganggu menunjukkan bahwa nilai maksimum torsi statis terbesar pada sudut 40° dengan nilai sebesar 8,3 Ncm pada bilangan Reynolds = 178000. Nilai torsi statis tanpa

silinder pengganggu mempunyai nilai terendah di sudut 150° dengan nilai sebesar $-2,03$ pada bilangan Reynolds = 178000. Sedangkan nilai torsi statis dengan silinder pengganggu mempunyai nilai terendah di sudut 150° dengan nilai sebesar 0,25

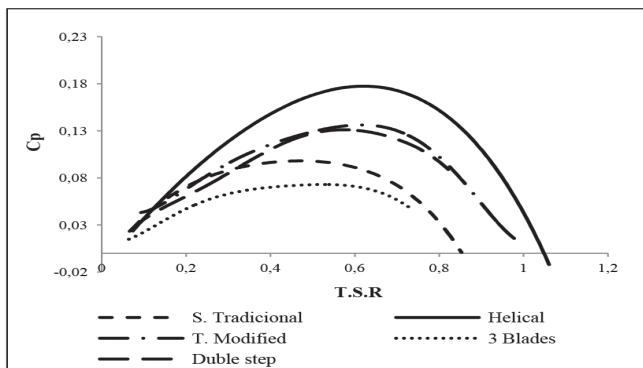
Dari data nilai perbandingan torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu memiliki grafik yang memiliki sudut bukaan tertinggi pada sudut yang berbeda yaitu pada sudut 30° dan sudut 40° bukaan paling rendah pada sudut yang cenderung sama yaitu pada sudut 150° . Kemudian terlihat pada grafik tanpa penghalang pada sudut 150° dan 160° bernilai negative, hal ini menunjukkan pada bukaan sudut sudu yang bernilai negatif gaya *drag* memiliki arah yang berlawanan dengan arah putaran turbin, sehingga turbin angin Savonius tidak memiliki kemampuan *self starting*. Dari data diatas penempatan silinder pengganggu efektif meningkatkan nilai torsi statis dan meningkatkan kemampuan *self starting* turbin angin Savonius. Dan penempatan silinder pengganggu pada bilangan Reynolds = 178000 di setiap sudutnya nilai torsi statis nya tidak ada yang bernilai negatif. Sehingga mempunyai *self starting* di setiap sudutnya



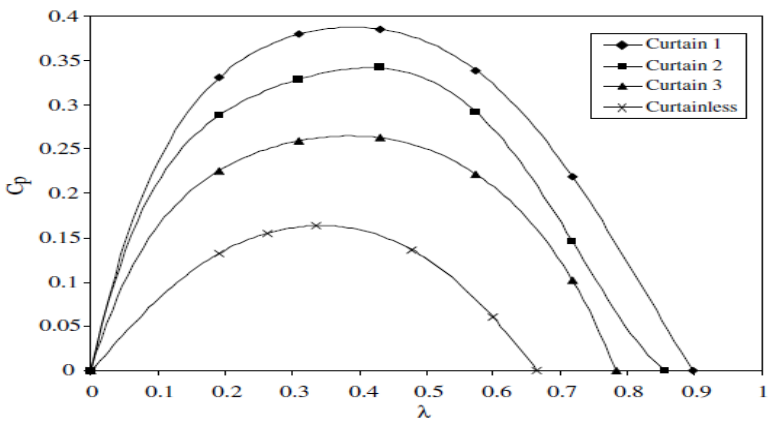
Gambar 4.24 Grafik perbandingan nilai torsi statis tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi sudut pada $Re = 178000$

4.7 Diskusi Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

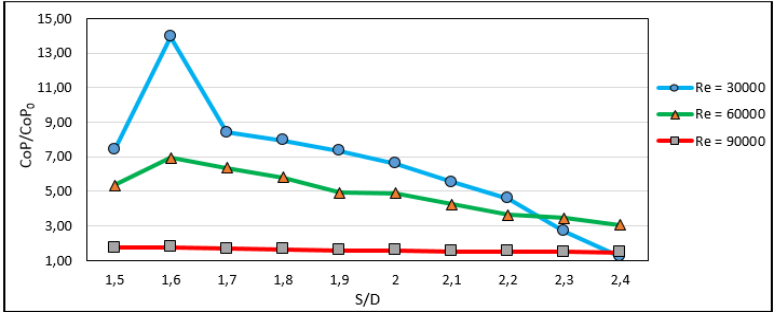
Berikut adalah beberapa hasil dari penelitian tentang turbin angin Savonius yang berupa grafik dari penelitian terdahulu dan grafik penelitian yang penulis lakukan. Grafik nya adalah sebagai berikut:



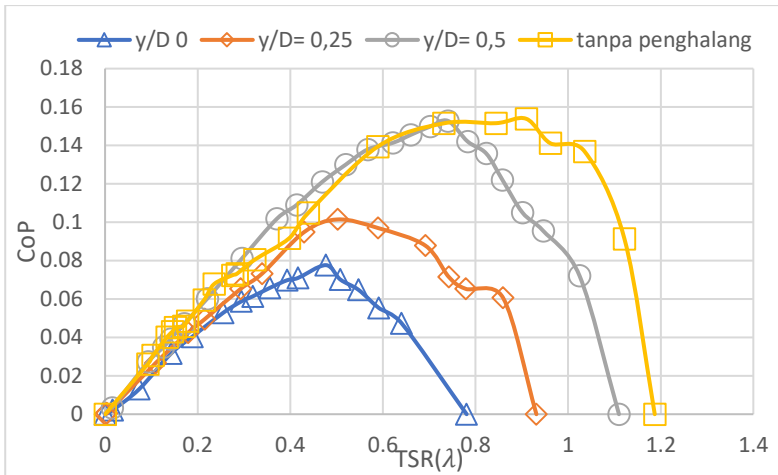
Gambar 4.25 Coefficient of Power Vs TSR (Diaz, et al., 2014)



Gambar 4.26 Grafik pengaruh plat penghalang terhadap nilai Cop dengan variasi *tip speed ratio* (Altan, et al., 2008)



Gambar 4.27 Grafik perbandingan *Coefficient of Power* antara turbin angin Savonius berpengganggu dan tanpa silinder pengganggu (CoP/CoP_0) sebagai fungsi jarak pada $S/D = 1,5 - 2,4$ (Ielman, 2017)



c

Gambar 4.28 Grafik Perbandingan nilai Coefficient of Power tanpa dan dengan silinder pengganggu sebagai fungsi tip speed ratio (λ) pada $Re = 97000$

Dari perbandingan beberapa grafik diatas didapatkan bahwa Coefficient of Power paling tinggi pada turbin angina angin Savonius dengan menggunakan dua buah plat penghalang dengan variasi sudut α dan β yang dilakukan oleh (Altan, *et al.*, 2008) dengan nilai sebesar 38 %. Perbandingan dari beberapa penelitian diatas diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya, dan juga memeberikan kontribusi yang lebih baik di waktu akan datang.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian studi eksperimen pengaruh silinder pengganggu didepan *returning blade* terhadap turbin angin Savonius pada jarak (S/D) = 1,8 dengan variasi penempatan silinder (y/D) dengan perbandingan diameter (d/D) = 1 terhadap performa turbin angin Savonius. Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penempatan silinder pengganggu dengan perbandingan $d/D = 1$ pada jarak $S/D = 1,8$ didepan turbin angin Savonius terjadi peningkatan performa turbin angin Savonius yang tidak signifikan. Dari data yang diambil terjadi kenaikan yang tidak signifikan pada nilai putaran (n), nilai *Coefficient of Power* (CoP), nilai *Coefficient of Moment* (C_m) dan nilai torsi statis (T_s) dibandingkan dengan turbin angin Savonius tanpa silinder pengganggu.
2. Putaran maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius dengan perbandingan $d/D = 1$ dan jarak $S/D = 1,8$ yang didapatkan hanya pada penempatan silinder $y/D = 0,5$ di kecepatan = 9,2 m/s dengan bilangan Reynolds = 178000 sebesar 668,43 rpm dibanding tanpa silinder pengganggu putaran maksimum pada bilangan Reynolds = 178000 sebesar 632,86 rpm. Sedangkan penempatan silinder pada posisi dan bilangan Reynolds yang divariasikan terbukti tidak efektif meningkatkan putaran turbin angin Savonius.
3. Peningkatan *Coefficient of Power* terbesar yang dihasilkan oleh turbin angin Savonius dengan perbandingan $d/D = 1$ dan jarak $S/D = 1,8$ pada penempatan silinder pengganggu $y/D = 0,5$ di bilangan

Reynolds = 178000 sebesar 1,06 %. Sedangkan nilai *Coefficient of Power* maksimum yang dihasilkan turbin angin Savonius dengan perbandingan $d/D = 1$ dan jarak $S/D = 1,8$ terjadi pada bilangan Reynolds = 97000 tanpa silinder pengganggu di depan turbin angin Savonius sebesar 15,4 % pada *tip speed ratio* = 0,856.

4. Penempatan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius dengan perbandingan $d/D = 1$ pada jarak $S/D = 1,8$ dapat meningkatkan *Coefficient of Moment* pada dua variasi bilangan Reynolds = 145000 dan 178000 dengan peningkatan sebesar 5,21 % dan 4,19% . *Coefficient of Moment Power* maksimum yang dihasilkan turbin angin Savonius dengan perbandingan $d/D = 1$ dan jarak $S/D = 1,8$ terjadi pada bilangan Reynolds = 97000 tanpa silinder pengganggu di depan turbin angin Savonius sebesar 30,3 % pada *tip speed ratio* = 0,13.
5. Penempatan silinder pengganggu didepan turbin angin Savonius terbukti efektif meningkatkan nilai torsi statis turbin angin Savonius dengan perbandingan $d/D = 1$ dan jarak $S/D = 1,8$ pada dua variasi bilangan Reynolds = 97000 pada sudut 40° dengan nilai sebesar 4,22 dan bilangan Reynolds = 178000 pada sudut 40° menghasilkan nilai maksimum dengan nilai sebesar 8,3 Ncm pada turbin angin Savonius, Terbukti efektif meningkatkan kemampuan *self starting* turbin angin Savonius.
6. Performa turbin angin Savonius yang paling optimal terjadi pada kecepatan angina = 5,01 m/s dengan bilangan Reynolds = 97000 yang memiliki nilai *Coefficient of Power* dan *Coefficient of Moment* terbesar.

5.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran terhadap penelitian studi eksperimen yang telah dilakukan ini, adalah sebagai berikut :

1. Dibutuhkannya penelitian numerik untuk meneliti karakteristik pola aliran ketika melewati silinder pengganggu dan melewati turbin angin Savonius.
2. Perlu dilakukan pemasangan turbin angin Savonius pada penyangga turbin Angin Savonius yang rigid, untuk mengurangi getaran pada turbin angin Savonius.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

1. Altan, B. D., Altigan, M. & Ozdamar, A., 2008. An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining. *Experimental Thermal and Fluid Science*.
2. Atlas, G. W., 2017. *globalwindatlas*. [Online] Available at: <https://globalwindatlas.info/> [Accessed 2017].
3. Diaz, A. P., Pajaro, G. J. & Salas, U. K., 2014. Computational model of Savonius turbine. *Journal of Mechanical Engineering*.
4. Fitriana, I. & Niode, N., 2017. *OUTLOOK ENERGI INDONESIA: Inisiatif Pengembangan Teknologi Energi Bersih*. s.l.:Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
5. Ielman, N. W., 2017. STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SILINDER PENGANGGU DI DEPAN RETURNING BLADE TURBIN ANGIN SAVONIUS TERHADAP PERFORMA TURBIN. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
6. Igarashi, T., 1981. Characteristic of the Flow around Two Circular Cylinders Arranged in Tandem. *Bulletin of the JSME, Vol 24, no 188*, Volume 24.
7. Kusdiana, D., 2016. *Statistik Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi*, s.l.: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi.
8. Mahmoud, N. H., El-Haroum, A. A., Wahba, E. & Nasef, M. H., 2010. An experimental study on improvement of Savonius rotor performance. *Alexandria Engineering journal*.
9. Pritchard, J. P., John , L. C. & Fox, R. W., 2011. *Fox and Mcdonald's Introduction to Fluid Mechanics, Eight Edition*. s.l.:John Willey & Sons, Inc..

10. Triyogi Y., Abdul L., Nabila P.P. dkk. 2017. The Effect of Width of Single Curtain on The Performance of Savonius Wind Turbine. AIP Conference Proceeding, Vol 1983, Issue 1, 2018, pp. 020023-1-020023-5.
11. Triyogi Y., Abdul L., Nabila P.P. dkk. 2017. Numerical study on the effect of width of single curtain on the performance of Savonius wind turbine. Matec Web of Conference, Vol 154, 01110(2018), pp.1-3

LAMPIRAN

Daftar Tabel Tanpa penghalang

Tabel A.1 (Re 97000)

T	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
28,2	374,5667	39,2046444	0	0	1,1772	1,187095	0	0	0
28,2	353,9	37,0415333	15	190	1,1772	1,121597	0,0163091	0,091376	0,08147
28,2	326,7	34,1946	16	300	1,1772	1,035393	0,0264674	0,136893	0,132214
28,2	303,3533	31,7509822	18	333,3333	1,1772	0,961402	0,0293875	0,141134	0,146801
28,2	287,0133	30,0407289	20	383,3333	1,1772	0,909616	0,0338609	0,153859	0,169147
28,2	266,3929	27,8824524	25	410,6667	1,1772	0,844265	0,0359422	0,151582	0,179544
28,2	230,7467	24,1514844	35	480	1,1772	0,731293	0,0414718	0,151499	0,207166
28,2	185,8933	19,4568356	45	553,3333	1,1772	0,589142	0,0473741	0,13942	0,23665
28,2	138,4667	14,4928444	50	563,3333	1,1772	0,438835	0,0478401	0,104872	0,238978
28,2	125,5267	13,1384578	55	550	1,1772	0,397825	0,0461315	0,091676	0,230443
28,2	101,94	10,66972	65	600	1,1772	0,323073	0,0498593	0,080466	0,249064
28,2	89,92	9,41162667	75	626,6667	1,1772	0,284979	0,0514126	0,073189	0,256823
28,2	86,84667	9,08995111	85	650	1,1772	0,275239	0,0526552	0,072396	0,263031
28,2	74,28667	7,77533778	95	713,3333	1,1772	0,235433	0,0576256	0,067772	0,28786
28,2	67,46	7,06081333	105	702,6667	1,1772	0,213797	0,0556995	0,059487	0,278238
28,2	56,17929	5,88009857	115	700	1,1772	0,178046	0,0545191	0,048489	0,272341
28,2	53,46	5,59548	125	706,6667	1,1772	0,169428	0,0542084	0,045879	0,27079
28,2	47,94667	5,01841778	135	773,3333	1,1772	0,151955	0,0594895	0,045156	0,29717
28,2	45,86	4,80001333	145	780	1,1772	0,145342	0,0591788	0,042966	0,295619
28,2	42,26667	4,42391111	155	800	1,1772	0,133954	0,0601108	0,040223	0,300274
28,2	32,67333	3,41980889	165	800	1,1772	0,10355	0,0591788	0,030611	0,295619
28,2	29,13333	3,04928889	175	783,3333	1,1772	0,092331	0,0566936	0,026148	0,283204
28,2	0	0	185	426,6667	1,1772	0	0,0225221	0	0,112506

Tabel A.2 (Re 1450000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
28,2	609,2	63,7629333	0	0	1,1772	1,289712	0	0	0
28,2	608,4333	63,6826889	15	50	1,1772	1,288089	0,0032618	0,009365	0,007271
28,2	591,2533	61,8845156	35	206,6667	1,1772	1,251717	0,0159985	0,044638	0,035661
28,2	558,8267	58,4905244	55	351,3333	1,1772	1,183068	0,0276168	0,072828	0,061559
28,2	531,2533	55,6045156	75	439,3333	1,1772	1,124694	0,033954	0,085122	0,075685
28,2	469,6867	49,1605378	95	609,3333	1,1772	0,994354	0,0479333	0,106242	0,106845
28,2	416,36	43,5790133	115	840	1,1772	0,881458	0,0675664	0,132755	0,150608
28,2	333,9733	34,9558756	135	991,3333	1,1772	0,707041	0,079806	0,125776	0,177891
28,2	329,8267	34,5218578	155	1006	1,1772	0,698262	0,0793089	0,123441	0,176783
28,2	298,18	31,2095067	175	1020	1,1772	0,631264	0,0787498	0,11081	0,175537
28,2	278,7533	29,1761822	195	1066	1,1772	0,590137	0,0811728	0,106778	0,180938
28,2	221,5667	23,1906444	215	1148,667	1,1772	0,469069	0,0870131	0,090979	0,193956
28,2	192,9067	20,1908978	235	1197	1,1772	0,408395	0,0896536	0,081614	0,199842
28,2	146,6533	15,3497156	255	1250,667	1,1772	0,310474	0,0927912	0,064217	0,206835
28,2	120,78	12,64164	275	1334,667	1,1772	0,255698	0,0987556	0,056287	0,22013
28,2	104,76	10,96488	295	1392	1,1772	0,221783	0,1022349	0,050541	0,227886
28,2	87,07333	9,11367556	315	1428,667	1,1772	0,184339	0,1037882	0,042647	0,231348
28,2	52,07333	5,45034222	335	1451	1,1772	0,110242	0,1040056	0,025558	0,231833
28,2	46,34	4,85025333	355	1450	1,1772	0,098104	0,1020485	0,022316	0,22747
28,2	23,66154	2,47657436	375	1490	1,1772	0,050093	0,1039124	0,011603	0,231625
28,2	0	0	385	1390	1,1772	0	0,093661	0	0,174844

Tabel A.3 (Re 178000)

T	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
28,2	632,86	66,2393467	0	0	1,1772	1,092229	0	0	0
28,2	626,9	65,6155333	15	50	1,1772	1,081943	0,0032618	0,005228	0,004832
28,2	592,9067	62,0575644	35	350	1,1772	1,023275	0,0293564	0,0445	0,043488
28,2	555,2	58,1109333	55	450	1,1772	0,958199	0,036812	0,052253	0,054532
28,2	522,18	54,65484	75	525	1,1772	0,901211	0,0419378	0,055988	0,062126
28,2	509,6667	53,3451111	95	600	1,1772	0,879614	0,0470635	0,061326	0,069719
28,2	487,2533	50,9991822	115	680	1,1772	0,840932	0,0526552	0,065594	0,078002
28,2	479,3733	50,1744089	135	750	1,1772	0,827332	0,0573149	0,070245	0,084905
28,2	443,4333	46,4126889	155	816	1,1772	0,765305	0,0616019	0,069838	0,091256
28,2	412,9067	43,2175644	175	900	1,1772	0,71262	0,0675664	0,071327	0,100091
28,2	405,7667	42,4702444	195	991,6667	1,1772	0,700297	0,0742454	0,077022	0,109985
28,2	354,5667	37,1113111	215	1225	1,1772	0,611933	0,094127	0,085326	0,139437
28,2	329,16	34,45208	235	1293,333	1,1772	0,568085	0,0986314	0,083003	0,14611
28,2	253,4533	26,5281156	255	1373,333	1,1772	0,437426	0,1042231	0,067536	0,154393
28,2	213,88	22,3861067	275	1468,333	1,1772	0,369127	0,1112127	0,060813	0,164748
28,2	173,3533	18,1443156	295	1493,333	1,1772	0,299184	0,1116787	0,049496	0,165438
28,2	144,34	15,1075867	315	1526,667	1,1772	0,249111	0,1129213	0,041671	0,167279
28,2	126,74	13,2654533	335	1663,333	1,1772	0,218736	0,123794	0,040113	0,183385
28,2	113,8867	11,9201378	355	1733,333	1,1772	0,196553	0,1284538	0,037402	0,190288
28,2	83,59333	8,74943556	375	1710	1,1772	0,144271	0,1244153	0,02659	0,184306
28,2	46,35333	4,85164889	395	1820	1,1772	0,079999	0,1328029	0,015738	0,196731
28,2	0	0	415	1400	1,1772	0	0,0917971	0	0,135986

Daftar Tabel Dengan Penghalang y/D = 0

Tabel A.4 (Re 97000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	246,4	25,79	0	0	1,1756	0,780776	0	0	0
27,9	214,4933	22,4503022	15	150	1,17945	0,640349	0,0139793	0,047379	0,069698
27,9	197,9214	20,7157762	20	200	1,17945	0,590875	0,0177071	0,055377	0,088284
27,9	183,3067	19,1860978	25	250	1,17945	0,547244	0,0223668	0,064785	0,111517
27,9	170,14	17,8079867	30	300	1,17945	0,507936	0,0260946	0,070154	0,130103
28,1	159,6667	16,7117778	35	350	1,17875	0,476669	0,0307544	0,077637	0,153427
28,1	139,5867	14,6100711	45	375	1,17875	0,416722	0,0321523	0,070959	0,1604
27,7	131,74	13,7887867	55	400	1,18015	0,393297	0,0335502	0,069799	0,167176
7,7	119,2467	12,4811511	65	425	1,25015	0,355999	0,0349481	0,065812	0,174141
27,9	106,9067	11,1895944	75	450	1,17945	0,319159	0,0363461	0,061398	0,181215
27,7	98,54667	10,3145511	85	475	1,18015	0,294201	0,037744	0,058739	0,188073
27,7	85,36	8,93434667	95	500	1,18015	0,254834	0,0391419	0,052763	0,195038
27,5	63,12	6,60656	105	525	1,18085	0,188439	0,0405398	0,040386	0,201884
27,7	47,75333	4,99818222	115	550	1,18015	0,142563	0,0419378	0,031626	0,20897
27,5	24,74	2,589453333	125	470	1,18085	0,0738589	0,0335502	0,0131	0,1670767
27,7	5,4965278	0,575303241	135	383,33333	1,18015	0,0164093	0,02454135	0,0021302	0,122286
27,7	0	0	145	346,66667	1,18015	0	0,02019225	0	0,1006151

Tabel A.5 (Re 145000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ(kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	455,9	47,7203	0	0	1,1756	0,965223	0	0	0
29,9	425,26	44,5105467	15	150	1,17245	0,9003	0,0139793	0,028167	0,031287
29,9	401,4267	42,0159911	35	225	1,17245	0,849843	0,0186022	0,036338	0,042758
29,9	371,9667	38,9325111	55	300	1,17245	0,787475	0,0235931	0,042705	0,05423
29,9	323,46	33,85548	75	375	1,17245	0,684784	0,0285839	0,044992	0,065702
29,9	294,38	30,8117733	95	445	1,17245	0,623219	0,033121	0,047446	0,076131
29,5	243,86	25,5240133	135	571,6667	1,17385	0,516266	0,0409854	0,048578	0,094095
29,9	177,5667	18,5853111	155	650	1,17245	0,375919	0,0462787	0,039988	0,106374
29,9	129,1533	13,5180489	195	698,3333	1,17245	0,273425	0,0470349	0,029561	0,108113
29,9	97,84667	10,2412844	235	823,3333	1,17245	0,207147	0,054748	0,026068	0,125842
30,1	76,50667	8,00769778	275	911,6667	1,17175	0,161969	0,0591339	0,022028	0,136004
29,9	58,84667	6,15928444	295	953,3333	1,17245	0,124582	0,0611	0,017497	0,140442
29,9	44,63333	4,67162222	315	973,3333	1,17245	0,094491	0,0611	0,013271	0,140442
29,9	34,33333	3,59355556	335	953,3333	1,17245	0,072686	0,0574703	0,009602	0,132099
29,9	5,9	0,61753333	355	790	1,17245	0,012491	0,0408341	0,001172	0,09386
29,8	0	0	375	758,3333	1,1728	0	0,0361458	0	0,083058

Tabel A.6 (Re 178000)

T	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ(kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	528,1	55,274	0	0	1,1756	0,921432	0	0	0
30,1	509,26	53,3025467	15	200	1,17175	0,888571	0,018639	0,025193	0,028353
30,1	449,1333	47,0092889	45	300	1,17175	0,78366	0,0251627	0,029996	0,038276
30,1	390,9333	40,9176889	75	475	1,17175	0,682111	0,0386759	0,04013	0,058832
30,1	337,7067	35,3466311	105	625	1,17175	0,58924	0,0498593	0,04469	0,075844
30,1	292,98	30,66524	135	788,3333	1,17175	0,5112	0,0622853	0,048434	0,094746
30,1	240,0867	25,1290711	165	875	1,17175	0,41891	0,0675664	0,043055	0,102779
30,1	206,8533	21,6506489	195	900	1,17175	0,360923	0,0671004	0,036839	0,10207
30,8	167,48	17,5295733	225	950	1,1693	0,292224	0,0689643	0,03072	0,105125
30,8	132,4467	13,8627511	255	1000	1,1693	0,231097	0,0708282	0,024951	0,107966
30,8	101,76	10,65088	285	1100	1,1693	0,177554	0,0773519	0,020935	0,117911
30,8	70,73333	7,40342222	315	1175	1,1693	0,123417	0,0815456	0,015341	0,124303
30,8	45,38	4,74977333	345	1246,667	1,1693	0,07918	0,0854288	0,010311	0,130223
30,8	25,94	2,71505333	375	1340	1,1693	0,045261	0,0913311	0,006301	0,13922
30,8	10,585278	1,107925741	405	1380	1,1693	0,0184695	0,09226305	0,0025976	0,1406404
30,8	0	0	425	930	1,1693	0	0,0484614	0	0,0738717

Daftar Tabel dengan Penghalang $y/D = 0,25$

Tabel A.7 (Re 97000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	293,9	30,7629	0	0	0,931484	0	0	0
31,8	271,2	28,3856	15	150	0,8595	0,013979	0,060607	0,070514
31,7	245,7733	25,7242756	25	188,3333	0,778917	0,01662	0,06528	0,083808
31,7	234,2067	24,5136311	35	225	0,742259	0,019105	0,071509	0,09634
31,7	218,2933	22,8480356	45	300	0,691826	0,025163	0,087784	0,126887
31,5	186,0933	19,4777689	65	400	0,589776	0,032618	0,09695	0,164385
31,3	158,5667	16,5966444	85	500	0,502537	0,040074	0,101431	0,201837
31,3	135,7143	14,2047619	95	550	0,430112	0,043802	0,094888	0,220613
31,3	106,9667	11,1958444	105	550	0,339004	0,04287	0,073197	0,215919
31,3	92,46667	9,67817778	115	575	0,29305	0,044268	0,065338	0,22296
31,3	67,94667	7,11175111	125	600	0,21534	0,045666	0,049528	0,230001
31,2	56,60667	5,92483111	135	625	0,179401	0,047063	0,042513	0,23697
31,2	34,44667	3,60541778	145	650	0,10917	0,048461	0,026638	0,244009
31,2	1,08	0,11304	155	390	0,003423	0,023299	0,000402	0,117312
31,2	0	0	165	360	0	0,019571	0	0,098542

Tabel A.8 (Re 145000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	467,29	48,9099	0	0	0,989286	0	0	0
31,1	426,02	44,5900933	15	150	0,901909	0,013979	0,028319	0,031399
30,9	386,6733	40,4718089	35	300	0,81861	0,026095	0,047951	0,058576
30,9	354,9867	37,1552711	55	400	0,751527	0,03355	0,056599	0,075313
30,9	322,22	33,7256933	75	525	0,682158	0,043336	0,06636	0,097279
30,9	298,9733	31,2925422	95	650	0,632944	0,053121	0,075475	0,119245
30,9	281,8533	29,5006489	115	750	0,5967	0,060577	0,08114	0,135981
30,8	260,2467	27,2391511	135	900	0,550957	0,072692	0,089877	0,163128
30,5	215,1733	22,5214756	155	1000	0,455534	0,080148	0,081859	0,179698
30,5	178,5467	18,6878844	175	1041,667	0,377994	0,082167	0,069636	0,184226
30,5	147,86	15,4760133	195	1050	0,313028	0,08108	0,056905	0,181788
30,5	97,18	10,1715067	215	1100	0,205736	0,083876	0,03869	0,188056
30,3	65,56667	6,86264444	235	1150	0,138808	0,086671	0,026958	0,194209
30,3	52,62	5,50756	255	1225	0,1114	0,091797	0,022914	0,205694
30,3	41,74	4,36878667	275	1140	0,088366	0,082012	0,016239	0,183767
30,3	27,65333	2,89438222	295	1156,667	0,058544	0,081701	0,010718	0,183071
30,3	5,686667	0,59520444	315	1088,333	0,012039	0,073469	0,001982	0,164625
30,3	0	0	335	1058,333	0	0,068809	0	0,154184

Tabel A.9 (Re 178000)

T	n (rpm)	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	595,09	62,2864	0	0	1,049755	0	0	0
32,1	555,0267	58,0927911	15	150	0,979077	0,013979	0,021408	0,021866
32,1	520,6	54,4894667	25	250	0,918348	0,022367	0,032128	0,034985
32,3	488,3333	51,1122222	35	450	0,861429	0,040074	0,054028	0,062719
32,3	425,8	44,5670667	75	650	0,751119	0,054985	0,064639	0,086056
32,3	403,72	42,2560267	95	750	0,71217	0,062441	0,069597	0,097725
32,4	342,42	35,83996	175	1076,667	0,604035	0,085429	0,080786	0,133743
32,1	314,6267	32,9309244	215	1273,333	0,555007	0,100029	0,086837	0,15646
32,1	289,0067	30,2493644	255	1376,667	0,509813	0,105932	0,084472	0,165692
32,4	256,9733	26,8965422	315	1500	0,453306	0,111834	0,079366	0,175082
32,4	216,9467	22,7070844	375	1600	0,382698	0,115562	0,069237	0,180918
32,4	192,0267	20,0987911	435	1650	0,338739	0,11463	0,06079	0,179459
32,1	149,1267	15,6085911	495	1750	0,263062	0,118358	0,0487	0,185128
32,3	106,3933	11,1358356	555	1883,333	0,18768	0,125192	0,036773	0,195936
32,3	75,24667	7,87581778	615	1946,667	0,132737	0,125503	0,026072	0,196422
32,4	52,72	5,51802667	675	2086,667	0,092999	0,132958	0,019358	0,208153
32,6	27,59333	2,88810222	735	2326,667	0,048675	0,149733	0,011417	0,234557
32,6	6,453333	0,67544889	795	1973,333	0,011384	0,111213	0,001983	0,174214
32,5	0	0	855	1700	0	0,080148	0	0,125513

Daftar Tabel Dengan Penghalang $y/D = 0,5$
Tabel A.10 (Re 97000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ (kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	350,2	36,65	0	0	1,1756	1,109765	0	0	0
31	323,3267	33,841524	15	150	1,1686	1,024702	0,013979	0,072083	0,070345
31	298,6267	31,256258	25	225	1,1686	0,946422	0,020037	0,095426	0,100828
31	284,4467	29,772084	35	268,3333	1,1686	0,901482	0,023143	0,104987	0,11646
31	270,7533	28,338849	45	333,3333	1,1686	0,858085	0,028269	0,122065	0,142253
31	259,7667	27,188911	55	391,6667	1,1686	0,823265	0,032774	0,135773	0,16492
31	247,0933	25,862436	65	436,6667	1,1686	0,7831	0,036035	0,142003	0,181334
31	233,6067	24,450831	75	500	1,1686	0,740358	0,041006	0,152769	0,206345
31	221,5733	23,191342	85	525	1,1686	0,702221	0,042404	0,14984	0,21338
31	208,3	21,802067	95	550	1,1686	0,660154	0,043802	0,145508	0,220415
31	196,0733	20,522342	105	575	1,1686	0,621405	0,0452	0,141338	0,227449
31	179,04	18,73952	115	618,3333	1,1686	0,567422	0,048306	0,13793	0,243081
31	164,0067	17,166031	125	643,3333	1,1686	0,519778	0,049704	0,130005	0,250116
31	148,1333	15,504622	135	670	1,1686	0,469471	0,051257	0,121092	0,257932
31	130,62	13,67156	145	691,6667	1,1686	0,413967	0,052345	0,10904	0,263403
31	117,0333	12,249489	155	725	1,1686	0,370908	0,054519	0,101757	0,274346
31	93,3	9,7654	165	735	1,1686	0,295691	0,054519	0,081122	0,274346
31	69,60667	7,2854978	175	741,6667	1,1686	0,220601	0,054208	0,060176	0,272782
31	53,94	5,64572	185	758,3333	1,1686	0,170949	0,05483	0,047166	0,275909
31	44,72667	4,6813911	195	770	1,1686	0,14175	0,054985	0,039221	0,276691
31	39,81429	4,1672286	215	790	1,1686	0,126181	0,054985	0,034913	0,276691
31	29,38	3,0751067	235	845	1,1686	0,093113	0,058247	0,027292	0,293104
31	4,906667	0,5135644	255	695	1,1686	0,01555	0,042404	0,003318	0,21338
31	0	0	265	621,6667	1,1686	0	0,034637	0	0,174299

Tabel A.11 (Re 145000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ(kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	594,28	62,2013	0	0	1,1756	1,258125	0	0	0
31	576,8667	60,378711	15	150	1,1686	1,22126	0,013979	0,038335	0,03139
31	538,3071	56,342814	35	300	1,1686	1,139627	0,026095	0,066775	0,058594
31	516,02	54,010093	55	451,6667	1,1686	1,092444	0,038365	0,094111	0,086147
31	458,3267	47,971524	75	615	1,1686	0,970304	0,051723	0,112693	0,116142
31	428,3267	44,831524	95	700	1,1686	0,906792	0,057781	0,117651	0,129744
31	403,7467	42,258818	135	800	1,1686	0,854755	0,063373	0,121631	0,1423
31	368,2667	38,545244	165	950	1,1686	0,779642	0,074556	0,130521	0,167411
31	325,38	34,05644	195	1046,667	1,1686	0,688848	0,080769	0,124931	0,181362
31	281,8133	29,496462	225	1193,333	1,1686	0,596615	0,091642	0,122769	0,205777
31	241,7286	25,300924	245	1335	1,1686	0,511753	0,10298	0,118336	0,231237
31	202,5467	21,199884	265	1418,333	1,1686	0,428803	0,108883	0,104838	0,244491
31	176,1267	18,434591	275	1431,667	1,1686	0,37287	0,109193	0,091423	0,245188
30	125,0467	13,088218	295	1516,667	1,1721	0,264731	0,115251	0,068305	0,258017
30	101,3267	10,605524	315	1573,333	1,1721	0,214514	0,118668	0,05699	0,265668
30	68,80667	7,2017644	335	1670	1,1721	0,145668	0,125813	0,041029	0,281663
30	48,58	5,0847067	355	1686,667	1,1721	0,102847	0,125503	0,028897	0,280968
30	26,41333	2,7645956	395	1763,333	1,1721	0,055919	0,12892	0,016139	0,288618
30	10,67143	1,1169429	415	1581,667	1,1721	0,022592	0,110125	0,00557	0,246542
30	0	0	435	961,6667	1,1721	0	0,050481	0	0,113013

Tabel A.12 (Re 178000)

T	n (rpm) Rata2	ω (rad/s)	m (gr)	s (gr)	ρ(kg/m ³)	λ	Td (Nm)	CoP	Cm
29	668,43	69,9627	0	0	1,1756	1,153624	0	0	0
33	638,82	66,86316	15	200	1,1616	1,102515	0,018639	0,030851	0,027982
33	612,5933	64,118102	35	250	1,1616	1,057252	0,021435	0,034022	0,032179
33	584,8533	61,214649	55	450	1,1616	1,009376	0,03821	0,057901	0,057363
33	563,7133	59,001996	75	550	1,1616	0,972892	0,045666	0,066698	0,068556
33	534,7467	55,970151	115	700	1,1616	0,922899	0,055917	0,077474	0,083947
33	499,5067	52,281698	155	823,3333	1,1616	0,86208	0,063683	0,08242	0,095606
33	431,52	45,16576	175	1000	1,1616	0,744744	0,078284	0,087526	0,117525
33	403,8867	42,273471	195	1080	1,1616	0,697053	0,083876	0,087773	0,12592
33	377,2667	39,487244	215	1198,333	1,1616	0,65111	0,09304	0,090946	0,139678
33	341,8333	35,778556	255	1396,667	1,1616	0,589957	0,107796	0,095473	0,16183
33	301,7867	31,587004	295	1475	1,1616	0,520842	0,111368	0,087081	0,167193
33	269,6067	28,218831	335	1566,667	1,1616	0,465304	0,116183	0,081159	0,174422
33	234,54	24,54852	375	1650	1,1616	0,404784	0,120222	0,073057	0,180485
33	197,3067	20,651431	415	1683,333	1,1616	0,340524	0,1196	0,061142	0,179552
33	158,5067	16,590364	455	1723,333	1,1616	0,273561	0,1196	0,049118	0,179552
33	121,5533	12,722582	495	1776,667	1,1616	0,209784	0,120843	0,038059	0,181418
33	84,96	8,89248	535	1850	1,1616	0,146629	0,123949	0,027285	0,186081
33	55,16667	5,7741111	575	1950	1,1616	0,09521	0,129541	0,018516	0,194476
33	37,66667	3,9424444	615	1940	1,1616	0,065007	0,124881	0,012188	0,187481
33	5,6	0,5861333	655	1853,333	1,1616	0,009665	0,113077	0,001641	0,169758
33	0	0	695	1540	1,1616	0	0,080148	0	0,120323

Daftar Tabel Torsi Statis

Tabel A.13 Ts Tanpa Penghalang

Sudut(θ)	Re = 97000	Re = 145000	Re = 178000
	Torsi Statis(Ncm)	Torsi Statis(Ncm)	Torsi Statis(Ncm)
0	1,5	3,7	3,22
10	2	5,3	7,02
20	2,1	6,3	7,63
30	2,3	6,56	7,88
40	2,02	5,9	7,24
50	1,55	4,39	6,7
60	1,42	3,92	5,83
70	1,08	3,78	4,59
80	0,68	2,8	3,67
90	0,54	1,91	3,06
100	0,06	0,82	2,03
110	0,04	0,34	1,58
120	-0,1	0,1	0,93
130	-0,16	-0,33	0,01
140	-0,64	-0,71	-1,22
150	-0,73	-1,61	-2,03
160	-0,78	-1,31	-0,02
170	0,31	0,33	2,1
180	1,15	3,65	3,34

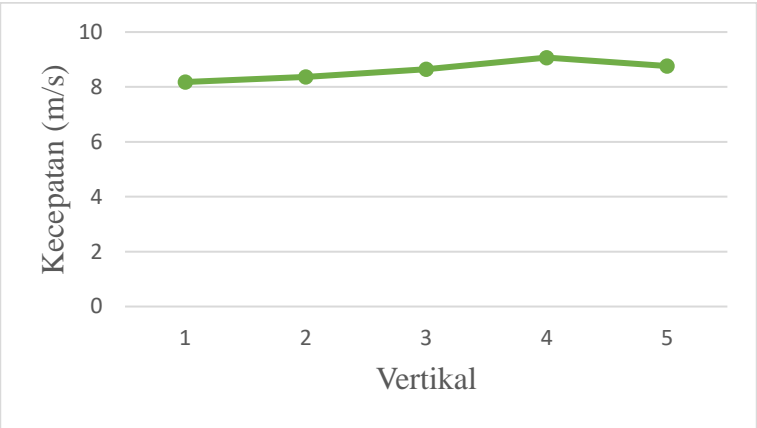
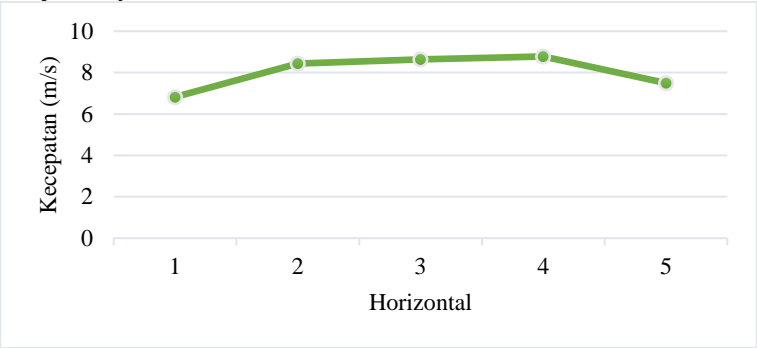
Tabel A.14 Ts Dengan Penghalang di $y/D = 0,5$

Sudut(θ)	Re = 97000	Re = 145000	Re = 178000
	Torsi Statis(Ncm)	Torsi Statis(Ncm)	Torsi Statis(Ncm)
0	1,91	2,25	3,59
10	2,39	3,01	4,14
20	2,97	3,77	4,94
30	3,74	5,06	6,6
40	4,22	5,79	8,3
50	3,93	5,51	7,33
60	3,36	5,02	6,96
70	2,99	4,56	6,27
80	2,42	4,02	5,69
90	2,02	3,54	4,9
100	1,66	3,02	4,4
110	1,22	2,58	3,63
120	1	2,05	2,81
130	0,54	1,32	1,78
140	0,17	0,77	0,93
150	-0,2	0,15	0,25
160	0,2	0,5	0,52
170	0,65	1,2	1,12
180	1,93	2,34	3,41

Tabel A.15

V (m/s)	r (m)	A (m ²)
5,01	0,0095	0,089321
7,5	0,0095	0,089321
9,2	0,0095	0,089321

Uniformity



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Andri Dwi Putra merupakan anak ketiga dari pasangan Idriansyah dan Welny. Penulis dilahirkan di Jakarta pada 11 Oktober 1995. Sejak lahir hingga menyentuh umur 18 tahun, penulis tinggal dan mengenyam pendidikan di tanah kelahirannya. Sekolah tempat penulis menuntut ilmu diantaranya TK Amanah Sungai Penuh, SDN 23 Ujung Gurun, MTsN Model Padang, dan SMAN 1 Padang. Lulus dari bangku SMA, penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama 5 tahun masa studinya di dunia kampus, penulis menyempatkan untuk turut aktif dalam pengembangan diri baik dalam bidang akademik maupun non-akademik.

Penulis aktif mengabdikan diri ke dalam Himpunan Mahasiswa Mesin selama 2 periode, masing-masing sebagai staf dan kepala biro usaha eksternal. Penulis juga berkesempatan untuk melakukan kerja praktik di PT. GMF AeroAsia selama satu bulan dan bersyukur atas pengalaman dan ilmu yang didapatkan. Penulis beranggapan bahwa hal mutlak yang terjadi di dunia ini adalah perubahan layak siang menjadi malam, muda menjadi tua dan dari ada menjadi tiada. Sudah seharusnya sebagai manusia senantiasa melakukan perubahan menjadi yang lebih sebelumnya. Seperti penulis yang dulunya hanya lulusan SMA dan nantinya menjadi Sarjana Teknik yang dapat berguna bagi nusa dan bangsa, Aamiin.

hubungi saya di:
andridwiputra11@gmail.com